

T.C.
GEBZE TEKNİK ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

SÜRDÜRÜLEBİLİR CEPHE MALZEMESİ SEÇİMİNE YÖNELİK
BİR KONTROL LİSTESİ ÖNERİSİ

GÜLSÜM GÜLER GÜRKAN
YÜKSEK LİSANS TEZİ
MİMARLIK ANABİLİM DALI

GEBZE

2022

T.C.
GEBZE TEKNİK ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

SÜRDÜRÜLEBİLİR CEPHE MALZEMESİ
SEÇİMİNE YÖNELİK BİR KONTROL
LİSTESİ ÖNERİSİ

GÜLSÜM GÜLER GÜRKAN
YÜKSEK LİSANS TEZİ
MİMARLIK ANABİLİM DALI

DANIŞMANI
DOÇ. DR. SANİYE KARAMAN ÖZTAŞ

GEBZE
2022

T.R.
GEBZE TECHNICAL UNIVERSITY
GRADUATE SCHOOL OF NATURAL AND APPLIED SCIENCES

**A CHECKLIST PROPOSAL FOR
SUSTAINABLE FACADE MATERIAL
SELECTION**

GÜLSÜM GÜLER GÜRKAN
**A THESIS SUBMITTED FOR THE DEGREE OF
MASTER OF SCIENCE
DEPARTMENT OF ARCHITECTURE**

THESIS SUPERVISOR
ASSOC.PROF.DR. SANİYE KARAMAN ÖZTAŞ

GEBZE
2022



YÜKSEK LİSANS JÜRİ ONAY FORMU

GTÜ Fen Bilimleri Enstitüsü Yönetim Kurulu'nun 16/06/2022 tarih ve 2022/29 sayılı kararıyla oluşturulan jüri tarafından 29/06/2022 tarihinde tez savunma sınavı yapılan Gülsüm GÜLER GÜRKAN'ın tez çalışması Mimarlık Anabilim Dalında YÜKSEK LİSANS tezi olarak kabul edilmiştir.

JÜRİ

ÜYE

(TEZ DANIŞMANI)

: DOÇ. DR. SANİYE KARAMAN ÖZTAŞ

ÜYE

: DOÇ. DR. SONAY AYYILDIZ

ÜYE

: DR. ÖĞR. ÜYESİ SEHER GÜZELÇOBAN MAYUK

ONAY

Gebze Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Yönetim Kurulu'nun

...../...../..... tarih ve/..... sayılı kararı.

İMZA/MÜHÜR

ÖZET

Dış ortam ve iç ortam arasında en fazla etkileşim hacmine sahip yapı bileşenlerinden biri olan bina cephelerinde, sürdürülebilir malzeme seçimi diğer yapı bileşenlerine göre, çevresel etki, enerji verimliliği ve teknik performans değerlendirmesi açısından önemli bir strateji olarak ön plana çıkmaktadır. Ancak bu konuyla ilgili Türkiye’de yapılan bilimsel çalışmaların eksikliği ve ilgili yönetmeliklerin bulunmaması sebebiyle, mimar ve mühendisler tarafından sürdürülebilir cephe malzemesi seçimi ihmal edilebilen bir konu olabilmektedir. Bu amaçla, bu çalışmada ilk olarak mimar ve mühendisler için, yapıların ve yapı malzemelerinin çevresel sürdürülebilirliği, yeşil bina sertifikasyon sistemleri ve yeşil malzeme etiketleri ile alakalı teorik bir çerçeve sunulduktan sonra, sürdürülebilir cephe malzemesi seçimi sırasında faydalanabilecekleri bir kontrol listesinin geliştirilmesi hedeflenmiştir. Bu bağlamda belirlenen ulusal ve uluslararası veri tabanlarında, “sürdürülebilirlik (sustainability)”, “cephe (facade)” ve “yapı malzemeleri (building materials)” anahtar kelimeleri ile literatür taraması yapılarak belirlenen toplam 52 adet bilimsel çalışma meta analizi yöntemi ile analiz edilmiş ve bu bilimsel çalışmalardan kontrol listesini oluşturacak sürdürülebilir cephe malzemesi seçim kriterlerinin ana kategori ve ölçütleri tespit edilmiştir. Tarama sonucu, “hammadde verimliliği”, “enerji verimliliği”, “su verimliliği”, “ekolojik etkiler” ve “teknik performans” olmak üzere toplam 5 ana kategori altında toplam 36 adet ölçüt belirlenmiş, her bir ölçütün, hangi bilimsel çalışma ya da çalışmalardan elde edildiği ve bilimsel çalışmalardaki sıklık analizi hesaplanarak, elde edilen verilere göre önem dereceleri tespit edilmiştir.

Çalışmada, cephe malzemelerinin seçiminde sürdürülebilirliğin çevresel boyutu değerlendirilerek, “hatırlatma” işlevi gören bir kontrol listesi oluşturulmuştur. Hazırlanan kontrol listesi ile yapıların proje aşamalarındaki sürdürülebilir cephe malzemesi seçimi sürecinde ortaya çıkan belirsizlik giderilerek, seçim kriterlerine göre sistematik bir şekilde en uygun malzeme tercihi yapılabilmektedir.

Anahtar Kelimeler: Sürdürülebilirlik, Cephe, Yapı malzemeleri, Kontrol Listesi.

SUMMARY

In building facades, which is one of the building components with the highest interaction volume between the exterior and interior environment, the selection of sustainable materials comes to the forefront as an important strategy in terms of environmental impact, energy efficiency and technical performance evaluation compared to other building components. However, due to the lack of scientific studies on this subject in Turkey and the lack of relevant regulations, the selection of sustainable facade materials by architects and engineers can be a neglected issue. For this purpose, in this study, after first presenting a theoretical framework for the environmental sustainability of buildings and building materials, green building certification systems and green material labels, it is aimed to develop a checklist that they can benefit from during the selection of sustainable facade materials. In this context, a total of 52 scientific studies, which were determined by searching the literature with the keywords "sustainability", "facade" and "building materials" in the national and international databases determined in this context, were analyzed by meta-analysis method. The main categories and criteria of sustainable facade material selection criteria, which will form the checklist from these scientific studies, have been determined. As a result of the screening, a total of 36 criteria were determined under 5 main categories as "raw material efficiency", "energy efficiency", "water efficiency", "ecological effects" and "technical performance". The importance levels were determined according to the obtained data by calculating the frequency analysis in scientific studies.

In the study, a checklist that serves as a "reminder" was created by evaluating the environmental dimension of sustainability in the selection of facade materials. With the prepared checklist, the uncertainty that arises during the sustainable facade material selection process in the project stages of the buildings is eliminated, and the most suitable material can be selected systematically according to the selection criteria.

Keywords: Sustainability, Facade, Building materials, Checklist.

TEŞEKKÜR

Tez çalışmam süresince beni yönlendiren ve desteğini hiçbir zaman esirgemeyen sevgili hocam Doç. Dr. Saniye KARAMAN ÖZTAŞ'a, tüm katkıları ve içtenliği için sonsuz teşekkürlerimi sunarım.

Beni daima destekleyen sevgili eşim Sadettin GÜRKAN'a,

Eğitimim sırasında manevi destekleriyle her zaman yanımda olan sevgili annem Birsen GÜLER, sevgili babam Erdal GÜLER ve tüm aileme sonsuz teşekkürlerimi sunarım.



İÇİNDEKİLER

	<u>Sayfa</u>
ÖZET	v
SUMMARY	vi
TEŞEKKÜR	vii
İÇİNDEKİLER	viii
SİMGELER ve KISALTMALAR DİZİNİ	x
ŞEKİLLER DİZİNİ	xi
TABLolar DİZİNİ	xi
1. GİRİŞ	1
1.1. Tezin Amacı	1
1.2. Tezin Kapsamı	2
1.3. Tezin Yöntemi	3
2. SÜRDÜRÜLEBİLİRLİK KAVRAMI VE YAPILARIN ÇEVRESEL SÜRDÜRÜLEBİLİRLİĞİ	5
2.1. Sürdürülebilirlik Kavramı	5
2.2. Çevresel Sürdürülebilirlik	6
2.2. Yapıların Çevresel Sürdürülebilirliği	7
3. CEPHE KAVRAMI VE MALZEME SEÇİMLERİNDE SÜRDÜRÜLEBİLİRLİK	11
3.1. Sürdürülebilir Yapı Malzemesi	11
3.1.1. Yeşil Bina Değerlendirme Araçlarında Malzemenin Yeri	13
3.1.1.1. BREEAM	14
3.1.1.2. LEED	19
3.1.1.3. BEST-Konut Sertifikası	23
3.1.2. Yeşil Malzeme Değerlendirme Araçları	26
3.2. Cephe Kavramı ve Cephelerin Sürdürülebilirliği	31
3.2.1. Cephe Kavramı	31
3.2.2. Cephe Malzemelerinin Sürdürülebilirliği	33
4. SÜRDÜRÜLEBİLİR CEPHE MALZEMESİ SEÇİM KRİTERLERİNİN BELİRLENMESİ	35

4.1. Meta Analizi	36
4.2. Verilerin Toplanması	37
4.3. Verilerin İşlenmesi	43
4.4. Verilerin Analizi	43
4.4.1. Genel Bulgular Analizi	44
4.4.2. Kapsam Analizi	47
4.5. Kontrol Listesi	60
5. SONUÇ VE ÖNERİLER	63
 KAYNAKLAR	 67
ÖZGEÇMİŞ	74
EKLER	75

SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ

<u>Simgeler ve</u> <u>Kisaltmalar</u>	<u>Açıklamalar</u>
AP	: Asitleşme Potansiyeli
BEES	: Çevresel ve Ekonomik Sürdürülebilirlik için Bina
BEST	: Binalarda Ekolojik ve Sürdürülebilir Tasarım
BREEAM	: Bina Araştırma Kuruluşu Çevresel Değerlendirme Yöntemi
ÇEDBİK	: Çevre Dostu Sürdürülebilir Binalar Derneği
EP	: Ötrofikasyon Potansiyeli
EPD	: Çevresel Ürün Beyanı
GWP	: Küresel Isınma Potansiyeli
IPCC	: Hükûmetlerarası İklim Değişikliği Paneli
ISO	: Uluslararası Standartlar Teşkilatı
LEED	: Enerji ve Çevresel Tasarımda Liderlik
PCR	: Ürün Kategorisi Kuralları
UNEP	: Birleşmiş Milletler Çevre Programı
USEPA	: Amerika Birleşik Devletleri Çevre Koruma Ajansı
WCESD	: Dünya Çevre ve Kalkınma Komisyonu
YDD	: Yaşam Döngüsü Değerlendirmesi

ŞEKİLLER DİZİNİ

<u>Sekil No:</u>	<u>Sayfa</u>
2.1:	Sürdürülebilirliğin temel bileşenleri. 5
2.2:	ISO 14040'e göre YDD yöntemi aşamaları. 9
3.1:	Tasarım süreci. 11
3.2:	Malzeme seçimi akış şeması. 12
3.3:	Ana sektörler göre EPD belgeleri dağılımı. 28
3.4:	Yapı malzemeleri alt sektörlerine göre EPD belgeleri dağılımı. 28
3.5:	A üreticisine ait alüminyum profil etki kategorisi verileri. 30
3.6:	B üreticisine ait alüminyum profil etki kategorisi verileri. 30
3.7:	Yapı sisteminin farklı düzeylerdeki açılımları. 31
3.8:	Bina cephe sistemini oluşturan elemanlar. 32
3.9:	Cephe sistem kesiti. 32
3.10:	Sürdürülebilir cephe malzemesi seçim kriterlerini etkileyen parametreler. 34
4.1:	Bilimsel yayınların kaynak türlerine dağılımı. 44
4.2:	Bilimsel yayınların yıllara göre dağılımı. 45
4.3:	İncelenen çalışmaların ulusal ve uluslararası yayın olma özelliklerine göre dağılımı. 45
4.4:	Bilimsel yayınların ülkelere göre dağılımı. 46
4.5:	Bilimsel yayınlarda kullanılan araştırma yöntemleri. 46
4.6:	Bilimsel yayınlarda yer alan sürdürülebilirlik boyutları. 47
4.7:	Bilimsel yayınlarda yer alan çevresel kategori sıklık oranları. 50
4.8:	Hammadde verimliliği kategorisi altındaki ölçütlerin sıklık oranları. 54
4.9:	Enerji verimliliği kategorisi altındaki ölçütlerin sıklık oranları. 56
4.10:	Ekolojik etkiler kategorisi altındaki ölçütlerin sıklık oranları. 58
4.11:	Teknik performans kategorisi altındaki ölçütlerin sıklık oranları. 60

TABLÖLAR DİZİNİ

<u>Tablo No:</u>	<u>Sayfa</u>
1.1: Çalışmanın kurgusu.	4
2.1: Çevresel etki kategorileri.	10
3.1: BREEAM sertifika seviyeleri.	15
3.2: BREEAM çevresel konu başlıkları ve ağırlık yüzdeleri.	16
3.3: Sertifika derecesine göre minimumda istenen BREEAM gereklilikleri.	16
3.4: BREEAM International New Construction 2016 çevresel konu başlıkları (kategoriler), malzemelerle ilgili kriterler ve puanlamalar.	17
3.5: LEED derecelendirmesi.	20
3.6: LEED minimum uyulması gereken ölçütler.	20
3.7: LEED çevresel konu başlıkları.	20
3.8: LEED v4.1 çevresel konu başlıkları (kategoriler) ve malzemelerle ilgili kriterler.	21
3.9: BEST-Konut derecelendirmesi.	24
3.10: BEST-Konut çevresel konu başlıkları.	24
3.11: BEST-Konut sertifikası puanlama tablosu.	25
3.12: EPD sistem modülü.	29
4.1: Verilerin toplanması.	38
4.2: Çalışma kapsamında değerlendirmeye alınan bilimsel çalışmalar	39
4.3: Analiz çerçevesi.	43
4.4: Bilimsel çalışmalarda yer alan çevresel kategori başlıkları.	51
4.5: Analiz sonu belirlenen ölçütler.	52
4.6: Bilimsel çalışmalarda yer alan hammadde verimliliği kategorisi ölçütleri.	53
4.7: Bilimsel çalışmalarda yer alan enerji verimliliği kategorisi ölçütleri.	55
4.8: Bilimsel çalışmalarda yer alan ekolojik etkiler kategorisi ölçütleri.	57

4.9:	Bilimsel çalışmalarda yer alan teknik performans kategorisi ölütleri.	59
4.10:	Ölçütlerin önem dereceleri.	61
4.11:	Sürdürülebilir cephe malzemesi seçim kriterlerine yönelik hazırlanan kontrol listesi.	62



1. GİRİŞ

Dünya’da hızla artan nüfus artışı ile birlikte doğal kaynakların tüketilmesi, artan enerji ihtiyacı ve çevresel kirlilik sorunları ve bu sorunları azaltmak için de çeşitli sürdürülebilir yöntem arayışları ortaya çıkmıştır. Özellikle 1980’lerin sonunda çevresel sorunların artması ile sürdürülebilirliğin çevresel boyutu, her sektörde olduğu gibi yapı sektöründe de önem kazanan bir konu haline gelmiştir. Yapı ve inşaat sektörü doğal kaynakların %40, toplam birincil enerjinin %40, dünyadaki tatlı su kaynaklarının %15’inin tüketiminden, tüm atık oluşumunun %25’inden, sera gazı salımının %40-50’sinden sorumludur [Mokhlesian ve Holmén, 2012]. Bu amaçla, oluşan çevresel etkilere bağlı olarak 20. yüzyılın son çeyreğinden günümüze binaların çevreye karşı zararlı etkilerini azaltmak amacıyla LEED, BREEAM, BEST-konut gibi birtakım çevresel değerlendirme araçlarının geliştirilmesiyle, doğaya olan salımların azaltılması, enerji ve su kaynaklarının daha verimli kullanılması, atıkların kontrol edilmesi ve geri dönüştürülebilirliğinin sağlanması mümkün olmaktadır.

Yapım kaynaklı oluşan çevresel etkilere karşı, yapım sürecinde sürdürülebilir yapı malzemelerinin seçimi önemli bir strateji olarak karşımıza çıkmaktadır [Akadiri vd., 2015]. Mimarlar için talep edilen ihtiyaç programı doğrultusunda tasarladıkları yapılarda kullanılacak malzeme seçimi için önemli bir karar problemidir [Alptekin, 2014]. Sürdürülebilir malzeme seçimi, LEED sertifika sisteminde “malzeme ve kaynaklar”, BREEAM sertifika sisteminde “malzeme”, BEST-konut sertifika sisteminde “malzeme ve kaynak kullanımı” alt kategori başlıkları altında değerlendirmeye alınmıştır.

Binalar yapı elemanları ve bileşenlerinden oluşur. Her yapı malzemesinin çevresel etkileri ve enerji performansı farklıdır. Binaların çevresel etkilerini ve enerji performansını önemli ölçüde etkileyecek ana yapı bileşenlerinden biri binanın cephesidir, bu nedenle bina cephelerinin tasarımına ve yapı malzeme seçimine daha fazla farkındalık oluşturulmalıdır. [Mayhoub vd, 2021].

Cephe malzemelerinin diğer yapı malzemelerine göre çevresel etmenler karşısında su yalıtımı, taşıyıcılık, hava geçirimsizliği, ısı yalıtımı vb. performansları ön plana çıktığı için, sürdürülebilir cephe malzemesi seçimi sırasında bütüncül yaklaşımla cephe malzemesinin teknik performansı da dikkate alınarak seçim

yapılmalıdır. Bu konuda Türkiye’de sürdürülebilir cephe tasarım kriterleri ile ilgili çalışmalar yer alırken, sürdürülebilir cephe malzemesi seçim kriterleri ile ilgili yazarın bilgisi dahilinde Türkiye’de yeterli çalışmaya ulaşılamamıştır. Ülkemizde bu konudaki kaynak ve standartların yetersizliği sebebiyle, cephe malzemesi seçimi sırasında, sürdürülebilir malzeme seçilmesi konusu mimar ve mühendisler tarafından ihmal edilebilmektedir.

1.1. Tezin Amacı

Çalışmanın amacı, sürdürülebilir cephe malzeme seçimi sırasında malzeme seçiminden sorumlu yapım sektöründeki paydaşlar için, sürdürülebilir cephe malzeme seçimi sırasında faydalanılabilecek kılavuz niteliği taşıyan bir kontrol listesi oluşturmaktır. Oluşturulan kontrol listesi ile sürdürülebilir cephe malzemesi seçiminin yapı malzemesi seçimi sırasındaki öneminin vurgulanarak, malzeme seçimi sırasında meydana gelebilecek ihmallerin azaltılması hedeflenmektedir. Buna ek olarak, bina değerlendirme araçlarının malzeme kategorileri ve sürdürülebilir cephe malzemesi seçimi sırasında kullanılabilecek yeşil malzeme etiketleri karşılaştırmalı olarak analiz edilerek, sürdürülebilir malzeme seçimi sırasında rehber olunması amaçlanmaktadır.

1.2. Tezin Kapsamı

Çalışmada, yapı kabuğunun dış ortam ve iç ortamı arasında en fazla etkileşim yüzeyine sahip olan cephe bileşeni, çevresel sürdürülebilirlik ana kategorisi altında incelenmiş ve kontrol listesi oluşturulmuştur. Hazırlanan kontrol listesindeki her bir ölçüt literatür taraması sonucu elde edilen verilere göre tespit edilmiştir. Kontrol listesinin güncel verileri içermesi amacıyla 2010 yılından 2022 yılına dek yayınlanmış bilimsel yayınlar, “sürdürülebilir (sustainability)”, “cephe (facade)” ve “yapı malzemeleri (building materials)” anahtar kelimeleri ile sınırlandırılarak incelenmiştir. Elde edilen 2312 adet bilimsel yayının incelenmesi sonucunda konu ile ilişkili 47’si uluslararası, 5’i ulusal çalışmadan oluşan toplam 52 bilimsel yayın tespit edilmiştir. Sürdürülebilir cephe malzemelerine yönelik literatür taraması sonucu öne çıkan hammadde verimliliği, enerji verimliliği, su verimliliği, ekolojik etkiler ve

teknik performans kategorileri başlıkları altında malzeme seçim kriterleri belirlenmiştir. Belirlenen bu 5 çevresel ana kategori başlığı ve 36 alt ölçütü esas alınarak değerlendirme yapılmıştır. Tez kapsamında, iç hava kalitesi, cephe sistemlerini oluşturan yapı malzemelerinde iç kaplamalar dahil edilmediği için kapsam dışı bırakılmıştır.

Bu çalışmada, ilk giriş bölümünün ardından ikinci bölümde sürdürülebilirlik, çevresel sürdürülebilirlik kavramları açıklanmış ve mimarlıkta çevresel sürdürülebilirliğin etkisi değerlendirilmiştir. Üçüncü bölümde yapı malzemelerinin çevresel etkileri incelenerek, bu kapsamda yeşil bina değerlendirme araçlarından olan LEED, BREEAM ve BEST-konut sertifikalarının malzeme kategorileri ve yeşil malzeme etiketleri karşılaştırmalı olarak incelenerek analiz edilmiştir. Çalışmanın dördüncü bölümünde ise sürdürülebilir cephe malzemesi seçim kriterleri, literatür araştırması sonucu belirlenen bilimsel çalışmalar, meta analizi yöntemiyle değerlendirilerek analiz edilmiş ve çevresel alt kategori başlıkları ve ölçütleri tespit edilmiştir. Analiz sonucu belirlenen her bir kategori ve ölçütün hangi yayından elde edildiği ve sıklık analizleri hesaplanarak ölçütlerin önem derecesi belirlenmiş ve elde edilen verilere göre bir kontrol listesi hazırlanmıştır. Sonuç bölümünde analiz sonuçları yorumlanmış ve konu ile ilgili gelecekte yapılacak çalışmalar için önerilere yer verilmiştir.

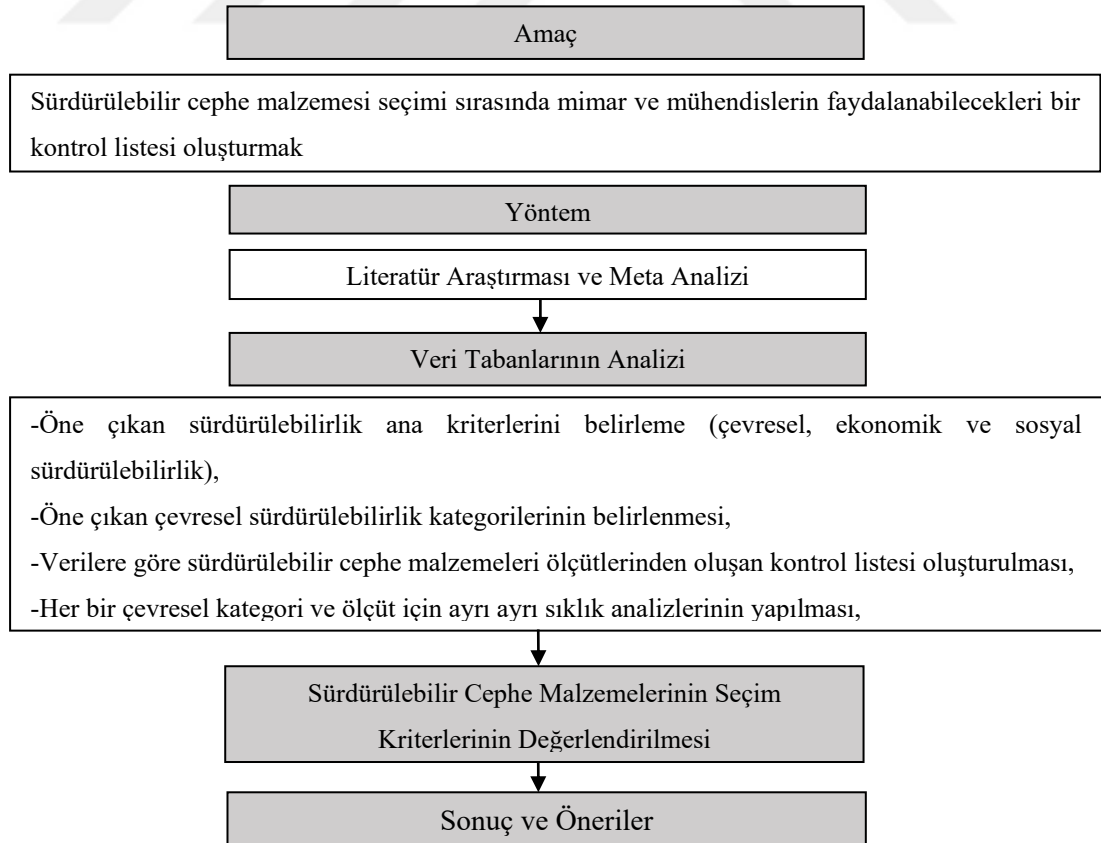
1.3. Tezin Yöntemi

Tez çalışmasında detaylı literatür çalışması ve meta analizi yöntemi kullanılmıştır. Çalışmada öncelikle sürdürülebilirlik kavramı, sürdürülebilir cephe malzemeleri, yeşil bina sertifikalarının malzeme kategorileri ve yeşil malzeme etiketlerini kapsayan ulusal ve uluslararası makaleler, kitap, tez çalışmaları; ulusal yönetmelik ve standartlar araştırılarak, çalışma ile ilgili teorik bir çerçeve oluşturulmuştur. Daha sonra sürdürülebilir cephe malzeme seçim kriterlerine yönelik hazırlanması hedeflenen kontrol listesindeki kategori ve ölçütleri belirlemek amacı ile belirlenen 52 adet bilimsel çalışma meta analizi yöntemi ile analiz edilmiş ve belirlenen her bir kategori ve ölçütün ayrı ayrı sıklık analizleri hesaplanarak önem dereceleri belirlenmiştir. Literatür çalışmasının ilk aşamasında derlenen standartlar ve yeşil etiket değerlendirmeleri ile ikinci aşamasında hazırlanan kontrol listesi ile

sürdürülebilir cephe malzemesi seçimi sırasında mimar ve mühendislere bir kaynak kılavuzun oluşturulması hedeflenmektedir. Çalışmanın kurgusu Tablo 1.1’de yer almaktadır. Tez kapsamında;

- Cephe malzemelerinin Yaşam döngü değerlendirmesi (YDD) yöntemi ile çevresel performansları değerlendirilerek sürdürülebilir kalkınmanın çevresel boyutu dikkate alınmaktadır.
- LEED, BREEAM ve BEST-konut sertifikalarının malzeme kategorileri incelenmiştir.
- Türkiye’deki sürdürülebilir cephe malzemesi seçimi ile ilgili yönetmelik ve standartların incelenip derlenmiştir.
- ISO 14040 kapsamındaki parametreler doğrultusunda belirlenen kategorilere göre (ham madde kullanımı, enerji kullanımı, malzeme içeriği, su, hava ve toprağa verilen emisyonlar; atık oluşumu) değerlendiren EPD belgeleri, örneklerle karşılaştırılmalı olarak incelenip değerlendirilmiştir.

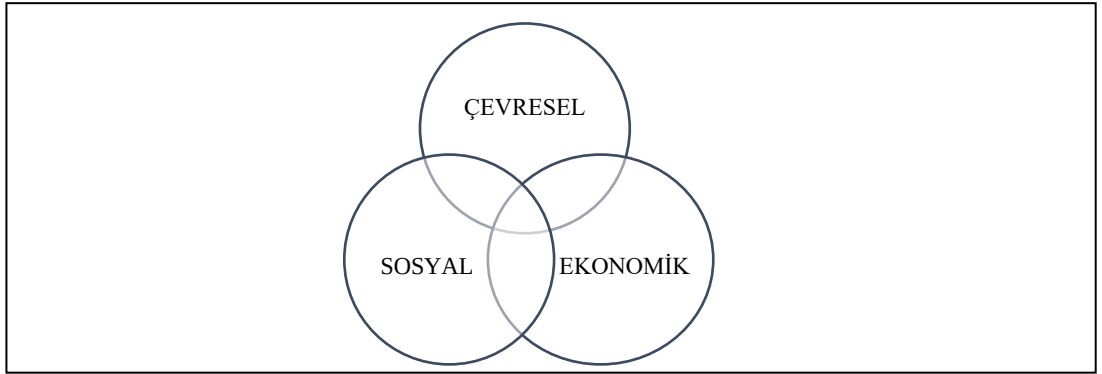
Tablo 1.1: Çalışmanın kurgusu.



2. SÜRDÜRÜLEBİLİRLİK KAVRAMI VE YAPILARIN ÇEVRESEL SÜRDÜRÜLEBİRLİĞİ

2.1. Sürdürülebilirlik Kavramı

Sürdürülebilirlik, mevcut ve gelecek nesillerin ihtiyaçlarını karşılamak amacıyla çevresel, sosyal ve ekonomik kaynakların korunması ve geliştirilmesini kapsamaktadır [UIA/AIA World Congress of Architects, 1993]. “Sürdürülebilirlik” terimi “ekolojik” terimi ile birbirini yerine sıkça kullanıyor olsa da, sürdürülebilirlik daha geniş bir kavramı ifade etmektedir. Sürdürülebilirlik kavramı, fosil yakıtların ve biyoçeşitliliğin azalması, iklim değişikliği, su kaynaklarının azalması, sera gazlarının artması, kaynakların tükenmesi, çölleşme, artan toprak ve hava kirliliği, işsizliğin artması, hastalıkların çoğalması, yaşam kalitesinin azalması gibi problemleri ele alan genel bir başlıktır. Dünya Çevre ve Gelişme Komisyonu (The World Commission on Environment and Development- WCESD)’un 1987 yılında referans gösterdiği Brundtland Raporu’na göre sürdürülebilirliğin; çevresel, ekonomik ve sosyal boyut olmak üzere birbiri ile eşdeğer ağırlıkları sahip üç bileşeni bulunmaktadır [Portney, 2015].



Şekil 2.1 Sürdürülebilirliğin temel bileşenleri.

Sürdürülebilirlik kelimesinin İngilizce karşılığı olan “sustainability” kelimesi Oxford İngilizce Sözlüğünde;

- Doğal ürünlerin ve enerjinin çevreye zarar vermeyecek şekilde kullanılması,

- Uzun süre devam etme veya devam etme yeteneği olarak tanımlanmıştır [Web 1, 2022].

Sosyal sürdürülebilirlik, eşitlik, sağlık, eğitim, toplumda cinsiyet eşitliği, siyasi hesap verebilirlik olmak üzere yeterli sosyal hizmetlerin sağlanmasını kapsayan bir sürdürülebilirlik bileşenidir [Wilbank, 2011]. Nüfus artışı ile birlikte ekosistemde meydana gelen problemler, insanın fiziksel ve zihinsel sağlığını olumsuz yönde etkileyerek sosyal olaylar üzerinde etkili olmaktadır [Hoff ve Polack, 1993]. Sosyal sürdürülebilirlik insana değer veren bir bakış açısı ile bireysel ve toplumsal refahı ön plana çıkarmaktadır.

Ekonomik sürdürülebilirlik, düzenli ve sürekli olarak mal ve hizmet üretebilen, yönetilebilir seviyelerde hükümet ve dış borcu koruyabilen ve endüstri veya tarım sektörüne zarar veren dengesizliklerden kaçınabilen bir sürdürülebilirlik bileşenidir. İdeal ve sürdürülebilir bir ekonomi, minimum kaynak kullanımı ve çevresel zarar ile yüksek miktarda refahı sağlayan bir sistemdir. Ekonomik açıdan, sürdürülebilir olmak için, kaynaklara olan talep, yenilenebilir kaynak arzından daha az olmalıdır [Gedik, 2020].

Sürdürülebilirlik kavramını daha iyi anlayabilmek için bir sonraki bölümde sürdürülebilirliğin çevresel boyutları ele alınmıştır.

2.2. Çevresel Sürdürülebilirlik

Ekolojik denge, dünya üzerindeki tüm ekosistemlerin birbirleri ile olan düzenli dengesini ifade etmektedir. Bu denge içerisinde insan, bitki, hayvan ve tüm canlı organizmalar çevre ile uyumlu bir şekilde hareket etmektedir. Fakat ekosistem üzerinde oluşan değişimler bu dengenin bozulmasına sebep olmaktadır. Bu değişimlerin, nüfus artışıyla birlikte dünya dengesini taşıma kapasitesi ve dünya üzerindeki canlıların güvenli bir şekilde yaşayabileceği sınırlar aşılmıştır. Bu sınırların aşılması ile birlikte;

- Doğal kaynakların tükenmesi,
- Sera gazlarının artması,
- Ormansızlaşma,

- Atık yönetimi eksikliği,
- Biyolojik çeşitliliğin azalması,
- Küresel sıcaklığın artması vb. çevresel sorunlar ortaya çıkmaktadır.

Çevresel sürdürülebilirlik, yenilenebilir kaynak sistemlerinin aşırı sömürülmesinden kaçınarak ve yenilenebilir olmayan kaynakları yalnızca yatırımın yeterli ikame olarak yapıldığı ölçüde tüketerek istikrarlı bir kaynak tabanını korumalıdır. Bu, biyolojik çeşitliliğin, atmosferik istikrarın ve normalde ekonomik kaynaklar olarak sınıflandırılmayan diğer ekosistem işlevlerinin korunmasını içerir [Gedik, 2020]. Bu bağlamda çevresel sürdürülebilirlik, insan faaliyetleri ile artan çevresel sorunları azaltmak için büyük ve küçük ölçekteki tüm faaliyetleri kapsamaktadır. Gerçekleştirilmesi planlanan faaliyetler sürdürülebilirliğin sağlanmasını amaçladığı için, bu zamana kadar uygulanan faaliyetlerden farklı bir türde planlama ve organizasyon gerektirmektedir. Bu planlama ve organizasyonun hazırlanması için işletmeciler, pazarlamacılar ve üreticiler gibi eko-gelişme ile desteklenmelidir. Eko-gelişme; ekosistemin fiziksel çevrenin ve doğal kaynakların verimli kullanımını göz önünde bulundurarak ekonomik bir şekilde gelişim modelidir [Portney, 2015]. UNEP'E göre çevresel gelişim için hedeflenen bileşenler [Web 2, 2022];

- Enerji verimliliğinin artırılması ve yenilenebilir enerji kullanımı ve
- Toksik içerikli maddelerin kullanımının azaltılması,
- Fosil yakıt kullanımının azaltılması,
- Kirlenmiş alanların temizlenmesi,
- Sanayi kaynaklı salımların azaltılması ve artırılması,
- Atık oluşumu, geri dönüşüm ve yeniden kullanım sürecinin iyileştirilmesi,
- Suyun gereğinden fazla kullanımının durdurulması,

2.3. Yapıların Çevresel Sürdürülebilirliği

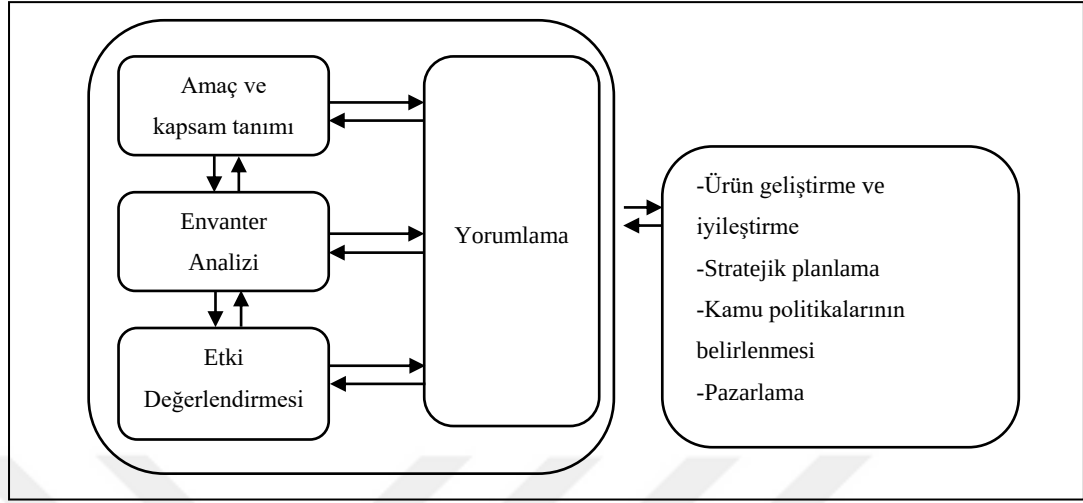
Yapılar, yapım ve kullanım aşamalarında doğal kaynakları aşırı bir şekilde kullanmak ile birlikte; yapım, kullanım ve yok etme aşamalarında ise çevreye çok fazla atık üretirler [Pitts, 2004]. Dünya ortalaması incelendiğinde kaynakların %50'si

binaların yapım ve işletmesi sırasında tüketildiği tespit edilmiştir [Hegger vd, 2008]. Yapılardan kaynaklı oluşan çevresel etkilere karşı çözüm üretebilmek, özellikle hızla artan nüfus ile birlikte ciddi önem arz etmektedir. BM tarafından yayınlanan 2018 yılı Dünya Şehirleşme verilerine göre dünya nüfusunun %55'i kentte yaşamakta iken, 2050 yılına doğru bu oranın %68'e yükselmesi tahmin edilmektedir [Web 3, 2022]. Küresel ölçekte nüfusun hızla artmasıyla birlikte, yapı ve inşaat sektöründe talebin artacak olması, bu sektörde çevresel etkileri azaltmaya sebep olabilecek çözüm olanaklarına olan ilginin artmasını sağlamıştır. Gelişen teknoloji ile birlikte yapı ve inşaat sektöründe; hammadde tüketimi, enerji tüketimi, su ve hava kirliliği, ekolojik etkiler konularında çözüm arayışları ortaya çıkmıştır. Bu çözüm arayışları doğrultusunda, yapı sektörü tarafından yapıların tasarım, yapım ve işletme aşamalarının da ele alınarak çevresel etki değerlendirmesi yapılması gerekmektedir.

Çevre dostu yapıların üretilmesi için yapı ve yapı elemanlarının tüm yaşam döngüsünü; hammaddenin çıkarılmasından imhasına kadar tüm süreci kapsamaktadır. Bu sürecin uygulanabilirliğinin sağlanması ile yapı sektörü kaynaklı çevresel problemlerin de azaltılması hedeflenmektedir. Yapı sektöründe sürdürülebilirliğin sağlamak amacı ile yerel ve uluslararası standartlar ve mevzuatlara da düzenlemeler yapılmıştır. Ayrıca sürdürülebilirliği temel ilke kabul eden enerji, su, iç ve dış ortam hava kalitesi, malzeme seçimi, ekolojik ürün kullanımı, atık kontrolü, ulaşım, aydınlatma gibi birçok ölçütü içeren bina değerlendirme araçları da ortaya çıkmıştır. Bu değerlendirme yöntemleri ile birlikte binaların sürdürülebilirlik hedeflerine ulaşılmasına ve çevre üzerindeki etkisinin hesaplanmasına katkı sağlanmıştır.

Binaların çevresel etkilerinin değerlendirilmesi için YDD ve bina değerlendirme sistemleri olmak üzere iki ana yaklaşım mevcuttur. YDD yapı malzemelerinin tüm yaşam döngüsü boyunca hammadde temini, üretim, yapım, kullanım, bakım, onarım ve yok etme süreçlerinde çevreye olan etkilerini derleyen ve değerlendiren bir çalışmadır [Kaya, 2010]. Kohler ve Moffat'a göre ise YDD tüme dayalı çevresel değerlendirme için en uygun yöntemdir [Kohler ve Moffatt, 2003]. YDD yöntemi, gelişmiş ve gelişmekte olan ülkelerde artan kaynak tüketimini engellemek ve çevresel etkileri ortaya koymak için yapım sektöründe sürdürülebilirliğin geliştirilmesinde de kullanılmaktadır [Ortiz vd., 2009]. YDD

yönteminde ISO 14040 (2006) Çevre Yönetimi-Yaşam Döngüsü Değerlendirmesi Standartı serisi ortak bir dil olarak kabul edilmektedir [Edwards, 2003].



Şekil 2.2: ISO 14040'e göre YDD yöntemi aşamaları.

YDD yöntemi ISO 14040' göre Şekil 2.2'de belirtildiği gibi 4 aşamadan meydana gelmektedir;

- **Amaç ve Kapsam Tanımı:** Ürün ve hizmetlerin açıklamalarının yapılması ve karşılaştırma yapılabilmesi için her birim ve ölçütün seçimi ve gereken tüm detaylı bilginin tanımlanmasını kapsamaktadır [Alptekin, 2014].
- **Envanter Analizinin Yapılması:** Süreç içerisinde kullanılan kaynakların girdileri; hava, su ve toprağa salımlar ile her bir süreç için sayısallaştırılmış ve akış şemasında bir araya getirilmiş edilmiş fonksiyonel bir sürece dayanmaktadır.
- **Etki Değerlendirmesi:** Üretim sonucu meydana gelen kaynak tüketimi ve gaz salımlarının etkileri; önem derecesine göre gruplandırılmaktadır. Daha sonra ağırlıklandırma ve sayısallaştırma ile çevresel etki kategorilerine ayrılmaktadır. Çevresel etki kategorileri Tablo 2.1'de verilmiştir.
- **Yorumlama:** Sonuçlar bilgilendirici olması hedeflenip sunulurken ürün ve hizmetlerin çevresel etkisini azaltmak için gerekli olan ihtiyaçlar ve olanaklar; sistematik bir şekilde değerlendirilmektedir [Özdemir, 2012]. Çevresel etkilerin ölçüleri, iklim, suyun ve toprağın yapısına göre değişebilmektedir. Bu sebeple her bir salının etkisi bölgelere göre farklılık gösterebilmektedir. Bu amaçla her çevresel etki kategori göstergeleri; normalleşme referans değerleri,

ağırlıklandırma için seçilen katsayılar açısından farklılaşmaktadır. Çevresel etki kategorileri ve etki verileri Tablo 2.1’de gösterilmiştir [USEPA, 2006].

Tablo 2.1: Çevresel etki kategorileri.

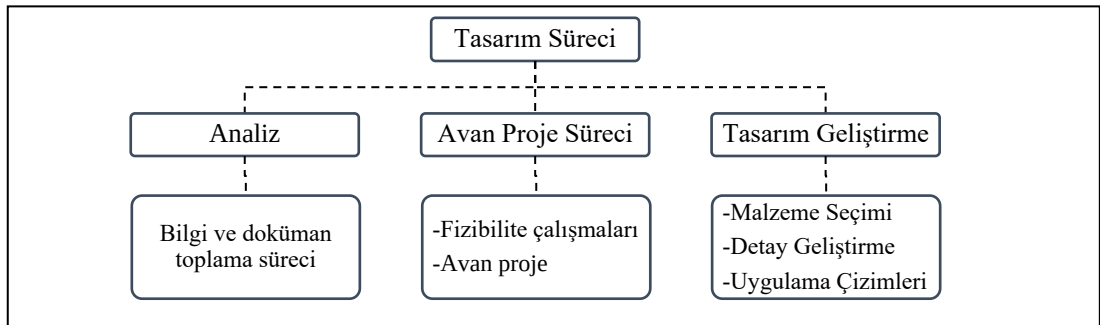
<i>Çevresel Etki Kategorileri</i>	<i>Etki Verileri</i>
<i>GWP (Küresel Isınma Potansiyeli)</i>	Karbondioksit (CO ₂) Nitrojendioksit (NO ₂) Metan (CH ₄) Kloroflorokarbonlar (CFC _s) Hidrokloroflorokarbonlar (HFCF _s) Metilbromid (CH ₃ Br)
<i>ODP (Stratosferik Ozon Tüketimi)</i>	Kloroflorokarbonlar (CFC _s) Hidrokloroflorokarbonlar (HFCF _s) Halonlar Metilbromid (CH ₃ Br)
<i>AP (Asitleşme Potansiyeli)</i>	Sülfüoksitler (SO _x) Nitrojen oksitler (NO _x) Hidroklorik asit (HCL) Hidroflorik asit (HF) Amonya (NH ₄)
<i>EP (Ötrofikasyon Potansiyeli)</i>	Fosfat (PO ₄), Nitrojenoksit (NO) Nitrojendioksit (NO ₄) Nitratlar Amonya (NH ₄)
<i>Fotokimyasal Sis</i>	Metan olmayan hidrokarbon (NMHC)
<i>Karasal Zehirlilik</i>	Kemirgenlere olan öldürücü konsantrasyonu raporlanmış zehirli kimyasallar
<i>Su Zehirliliği</i>	Balıklara olan öldürücü konsantrasyonu raporlanmış zehirli kimyasallar
<i>İnsan Sağlığı</i>	Havaya, suya ve toprağa yapılan toplam salımlar
<i>Kaynak Tüketimi</i>	Kullanılan mineral miktarı Kullanılan fosil yakıt miktarı
<i>Arazi Kullanımı</i>	Diğer arazi değişiklikleri veya düzenli bir depolama sahasının kullanıma miktarı
<i>Su Kullanımı</i>	Su kullanımı veya tüketimi

3. CEPHE KAVRAMI VE MALZEME SEÇİMLERİNDE SÜRDÜRÜLEBİLİRLİK

3.1. Sürdürülebilir Yapı Malzemesi

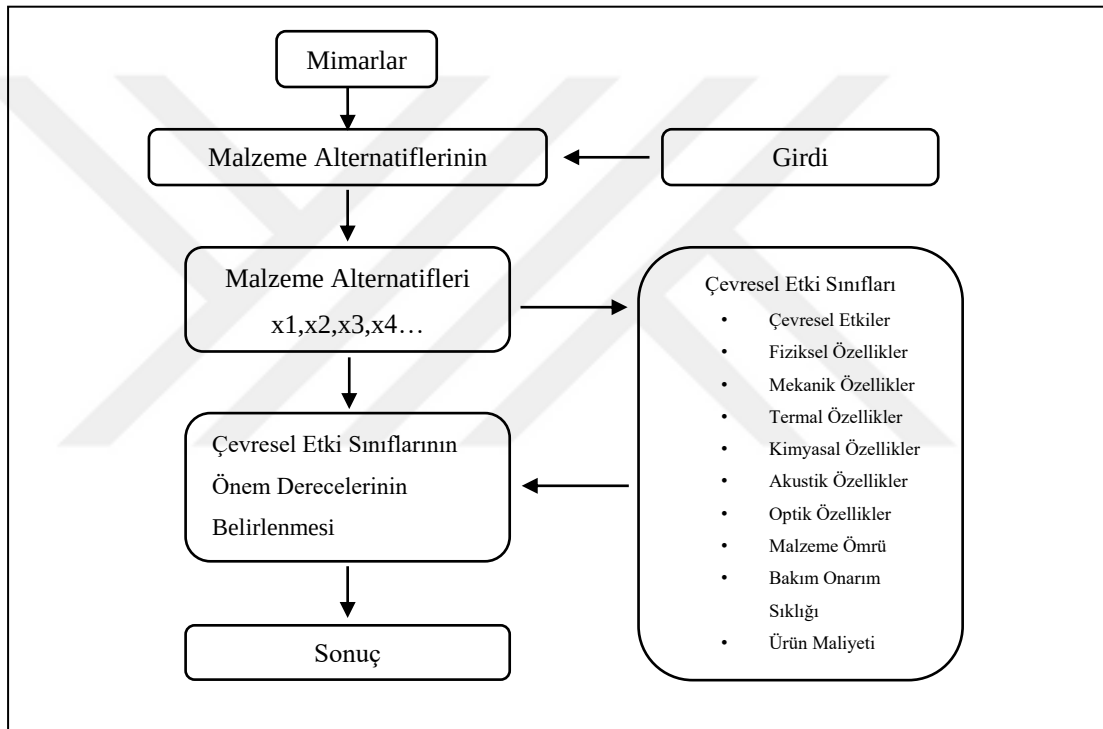
Yapı sektöründe sürdürülebilirlik; kentlerin, yerleşim alanlarının, yapıların ve yapı malzemelerinin sürdürülebilirliği olarak birbirinden farklı büyüklükteki ölçeklerde ele alınmaktadır. Çalışma kapsamında yapı malzemelerinin çevresel sürdürülebilirliği incelenecektir. Sürdürülebilir yapı malzemesi seçimi oluşan çevresel etkilere karşı, yapım sürecinde önemli bir strateji olarak ortaya çıkmaktadır. Yapıların, daha az çevresel etkiye sahip olmaları için belirlenen çözüm arayışları, yapı malzemesi seçimlerini ekolojik yaklaşımlara doğru yöneltmektedir. Bu amaçla, yapı uygulamalarında sürdürülebilir yapı malzemesi seçimi birçok çevresel ve ekonomik faydaları da beraberinde getirir.

Tasarım düşünülen bir fikri, bir ürüne dönüştürme işlemidir. Fikrin ürüne dönüşebilmesi için malzemelere ihtiyaç duyulmaktadır. Mimari tasarımların da yapı ürününe dönüşebilmesi için yapı malzemeleri kullanılmaktadır. Bu nedenle talep edilen ihtiyaç programı doğrultusunda tasarladıkları yapılarda kullanılacak malzeme seçimi mimarlar için önemli bir karar problemidir [Alptekin,2014]. Tasarım süreci Şekil 3.1’de gösterildiği gibi analiz, avan proje süreci, ve tasarım geliştirme süreçlerinden oluşmaktadır. Malzeme seçimi ise tasarım geliştirme sürecinin aşamalarından biridir. Malzeme alternatifinin fazla olması ve birden çok seçim kriterinin bulunması, malzeme seçimini zorlaştırmaktadır. Bu çalışmada, tasarım sürecinin malzeme seçimi alt başlığına odaklanılmıştır.



Şekil 3.1: Tasarım süreci.

Tasarım aşamasında çok sayıda malzeme alternatifi arasından seçim yapabilmek için malzemelerin fiziksel, mekanik, kimyasal, ısı, akustik ve optik özelliklerinin, maliyetlerinin, çevreye olan etkilerinin, kullanıcı isteklerinin ve benzeri ölçütlerin değerlendirilmesi gerekmektedir. Karar verme sürecinde her bir kategori ve ölçüte göre talepleri karşılayan alternatifin seçilebilmesi ön plana çıkmaktadır. Bu kadar çok malzeme alternatifi ve ölçüt arasından amaca en uygun malzeme seçimini gerçekleştirebilmek için sistematik bir sürecin takip edilmesi gerekmektedir [Alptekin, 2014]. Malzeme seçimine ait sistematik akış şemasın Şekil 3.2’de gösterilmektedir.



Şekil 3.2: Malzeme seçimi akış şeması.

Sağlıklı bir toplum için kaynakların daha verimli kullanımı amacı ile artan gereklilikler, birçok ülkede yapıların çevresel performansını geliştirmeye ve ölçmeye yönelik girişimlerin artmasına neden olmaktadır. Bunun sonucunda yapılar enerji verimliliklerine ve karbon salım düzeylerine göre kıyaslanmakta ve değerlendirilmektedir. Bu değerlendirmelerde, yapıların enerji ve çevresel performans değerleri yapı kullanımı sırasında ihtiyaç duyulan enerji ve karbon salımına göre belirlenmektedir. Yapılan bilimsel çalışmalarda yapı yaşam döngüsünde, yapıyı oluşturan malzemelerin oluşum enerjileri ile olası çevresel

etkilerinin de yapıların çevresel performansı hesaplanırken önemli bir yere sahip oldukları ifade edilmektedir [Casals, 2006]. Bu duruma örnek bilimsel çalışmalardan bazıları aşağıda yer almaktadır;

- Örneğin, Verbeeck ve Hens'in konut binalarında oluşum ve birincil enerjilerini ölçerek yapmış oldukları çalışmada, otuz yıllık bir yapı kullanım sürecinde ilk oluşum enerjisinin toplam harcanan enerjinin 1/4'lük kısmını oluşturduğu ve iyi yalıtılmış, akıllı bina sistemlerinin kullanıldığı yapılarda bu oranın arttığı belirtilmektedir [Verbeeck and Hens, 2010].
- İsveç'te yapılan başka bir çalışmada bir apartman binasında oluşum enerjisinin toplam elli yıllık yapı yaşam döngüsü sürecinde harcanan enerjinin %45'ine tekabül ettiği vurgulanmaktadır [Lawson, 1996].
- Kim ve Ringdon tarafından yapılan bir çalışmada da ise 150 m²'lik bir binanın, otuz yıllık yaşam ömrü sürecinde ısı yalıtımsız ve ısı yalıtımlı halindeki gereksinim duyduğu enerji miktarları hesaplanarak oluşum enerjileri ile birincil enerjileri kıyaslanmaktadır. Binanın mevcut halinde oluşum enerjisi toplam harcanan enerjinin 1/8'i iken, ısı verimliliği artırıldığında 1/3'üne tekabül ettiği görülmektedir [Kim ve Ringdon, 1998].

3.1.1. Yeşil Bina Değerlendirme Araçlarında Malzemenin Yeri

Yeşil bina değerlendirme araçları, binaların, kendi yapı kategorisinde önceden belirlenmiş yönetmelik, standart ve kılavuzlar referans alınıp puanlanarak karşılaştırılabilir bir şekilde ölçmeyi amaçlar. Her bina değerlendirme aracı, yaşam döngüsü aşamalarındaki farklı noktaya odaklanması ile birbirinden farklılaşmıştır. Araçlarda, sürdürülebilir sosyal, ekonomik ve çevresel boyutlarını bütüncül bir yaklaşım ile ele alınarak, kategoriler ve ölçütleri belirlenmiştir. Değerlendirme ölçütleri, farklı ülkelerdeki farklı kültürel faktörler ve düzenlemeler de göz önünde bulundurularak düzenlenmiştir. Değerlendirme sonucuna göre, binalar puanlanarak çevre etiketi ya da sertifika almaya hak kazanmaktadır.

Bu çalışmada uluslararası LEED, BREEAM ve ulusal BEST-konut yeşil bina değerlendirme araçları ve bu değerlendirme araçlarına ait malzeme kategorileri olarak değerlendirilmektedir.

3.1.1.1. BREEAM

BREEAM (Building Research Establishment's Environmental Assessment Method) 1990 yılında İngiltere'de geliştirilmiş ve yeşil yapı değerlendirme sistemlerinde öncü olan değerlendirme sistemlerinden biridir. BREEAM'in hedefi;

- Binaların çevre üzerindeki yaşam döngü etkilerini azaltmak,
- Binalar için güvenilir ve çevresel etiketler oluşturmak,
- Tedarik zincirleri için sürdürülebilir binalar ve yapı malzemelerine teşvik edici zemin hazırlamak.
- Binaların çevresel sürdürülebilirlik kriterlerine göre tasarlanmasını sağlamaktır.

BREEAM ilk olarak ofis ve konut yapıları için hazırlanmış ulusal bir sistem olup, zaman ile tüm dünyada ve farklı yapı türlerinde kullanılabilen bir değerlendirme aracına dönüşmüştür. BREEAM, 70'den fazla ülkede, bina değerlendirmelerini belgelendirmek amacıyla uygulanmıştır [Web 4, 2022]. Şimdiye kadar dünyada 714.000 bina BREEAM sertifikası almak için tescil edildi ve 116.000 bina sertifikalandırıldı [Web 5, 2022]. BREEAM, günümüzde sürümler şeklinde yayınlanarak; ofis, sanayi yapısı, konut, alışveriş merkezi, mevcut bina işlevlerine göre farklı yapı türlerinin değerlendirilmesini sağlar.

BREEAM International New Construction 2016 sürümü, yeni binalar için performansa dayalı bir değerlendirme yöntemi ve sertifikasyonudur. Bu sürüm için hazırlanan çevresel ana kategorileri ve kısaltmaları aşağıda yer almaktadır;

- Yönetim (MAN)
- Sağlık Konfor (Hea)
- Enerji (Ene)
- Ulaşım (Tra)
- Su (Wat)
- Malzeme (Mat)
- Atıklar (Wst)
- Arazi Kullanımı ve Ekoloji (Le)
- Kirlilik (Pol)

- İnovasyon (Inn)

BREEAM 2016, yeni binaların çevresel etkilerini değerlendirmek için tasarım aşaması ve yapım sonrası olmak üzere 2 tip sertifika vermektedir. BREEAM kullanılarak değerlendirilen bir projenin genel performansını belirleyen bir dizi unsur vardır; bunlar aşağıdaki gibidir:

- Değerlendirmenin kapsamı
- BREEAM derecelendirme seviyesi karşılaştırmaları
- Minimum BREEAM standartları
- Çevresel bölüm ağırlıkları
- BREEAM değerlendirmesi sorunları ve kredileri
- Sonraki sayfalarda özetlenen bir proje için bir BREEAM derecelendirmesi oluşturmak amacıyla bu unsurların nasıl bir araya geldiğini ve bu durumu bir derecelendirme hesaplama metodolojisini açıklayan bir açıklama ve örnek takip eder.
- BREEAM International New Construction 2016 şeması kullanılarak değerlendirilen projeler için BREEAM Derecelendirme kriterleri aşağıdaki gibidir [BREEAM] (Tablo3.1):

Tablo 3.1: BREEAM sertifika seviyeleri.

<i>BREEAM derecelendirme</i>	<i>Puan Yüzdesi (%)</i>
Olağanüstü (Outstanding)	≥ 85
Mükemmel (Excellent)	≥ 70
Çok İyi (Very Good)	≥ 55
İyi (Good)	≥ 45
Geçer (Pass)	≥ 30
Sınıflandırılmamış (Unclassified)	< 30

BREEAM International New Construction 2016 sürümüne göre çevresel konu başlıkları ve ağırlık yüzdeleri Tablo 3.2’de gösterilmiştir. Bu çizelgeye göre BREEAM’ın malzeme kategorisinin toplam yüzdedeki oranı %13’tür. Malzeme seçimi ile alakalı olup diğer konu başlıklarının altında hesap edilen (Hea 2, Wst1,

Wst 2 kriterleri vb.) ölçütlerde hesaba katıldığında malzeme seçimi %13'ten daha fazla bir yüzdelik dilime sahip olduğu söylenebilir.

Tablo 3.2: BREEAM çevresel konu başlıkları ve ağırlık yüzdeleri.

<i>Çevresel Konu Başlıkları</i>	<i>Ağırlık Yüzdeleri</i>
Yönetim	11%
Sağlık Konfor	19%
Enerji	20%
Ulaşım	6%
Su	7%
Malzeme	13%
Atıklar	6%
Arazi Kullanımı ve Ekoloji	8%
Kirlilik	10%
Toplam	100%
İnovasyon	10%

Belirli bir BREEAM Derecelendirmesine ulaşmak için, minimum toplam yüzde puanına ve minimum standartlara ulaşılmalıdır. Aşağıdaki Tablo 3.3'te detaylandırılmış olup, uyum sağlanan derecelendirme düzeyi için geçerlidir. Tabloda elde edilen verilere göre malzeme ile alakalı minimumda istenen toplam 2 kriter tespit edilmiştir.

Tablo 3.3: Sertifika derecesine göre minimumda istenen BREEAM gereklilikleri.

BREEAM Kriterleri		BREEAM değerlendirmesine göre minimumda istenen gereklilikler				
		Geçer	İyi	Çok iyi	Mükemmel	Olağanüstü
<i>Hea 8</i>	Kişisel Alanlar	-	-	-	-	1 kredi
<i>Hea 9</i>	Su Kalitesi	Yalnızca 1 madde	Yalnızca 1 madde	Yalnızca 1 madde	Yalnızca 1 madde	Yalnızca 1 madde
<i>Ene 1</i>	Enerji Kullanımı Azaltımı ve Karbon Salınımı	-	-	-	6 kredi	10 kredi
<i>Ene2a</i>	Enerji Takibi	-	-	1 kredi	1 kredi	1 kredi
<i>Wat 1</i>	Su Tüketimi	-	1 kredi	1 kredi	1 kredi	2 kredi
<i>Wat 2</i>	Su İzleme	-	Yalnızca 1 madde	Yalnızca 1 madde	Yalnızca 1 madde	Yalnızca 1 madde
<i>Mat 3</i>	Ürünlerinin Yetkili Firmalardan Temini	Yalnızca 1 madde	Yalnızca 1 madde	Yalnızca 1 madde	Yalnızca 1 madde	Yalnızca 1 madde
<i>Wst 1</i>	İnşaat alanı atık yönetimi	-	-	-	-	1 kredi
<i>Wst 3a</i>	Operasyonel Atık	-	-	-	1 kredi	1 kredi

BREEAM International New Construction 2016 çevresel konu başlıkları ve kriterleri incelendiğinde, malzeme seçimi ile ilgili kriterlerin, malzemeler, sağlık konfor ve atık başlıkları altında toplandığı sonucuna ulaşılmıştır. Bu sonuca göre malzemeler ile ilgili toplam 13 adet kriter analiz edilmiştir (Tablo 3.4).

Tablo 3.4: BREEAM International New Construction 2016 çevresel konu başlıkları (kategoriler), malzemelerle ilgili kriterler ve puanlamalar.

KREDİLER	ANA-ARA BAŞLIKLAR	PUAN
	YÖNETİM	18
Man 01	Proje Özeti ve Tasarım	4
Man 02	Yaşam Döngüsü Maliyeti ve Servis Ömrü Planlama	4
Man 03	Sorumlu Uygulama Ekibi	6
Man 04	Sorumlu Uygulama Ekibi	4
	İyileşme	3
	SAĞLIK KONFOR	25
Hea 01	Görsel Konfor	6
Hea 02	İç Hava Kalitesi	5
Hea 03	Güvenli muhafaza laboratuvarlar (sadece konut dışı binalarda)	2
Hea 04	Termal Konfor	3
Hea 05	Akustik Performans	4
Hea 06	Erişilebilirlik	2
Hea 07	Riskler	1
Hea 08	Kişisel Alanlar	1
Hea 09	Su Kalitesi	1
	ENERJİ	37
Ene 01	Enerji Kullanımı Azaltımı ve Karbon Salınımı	15
Ene 02a	Enerji Takibi	2
Ene 02b	Enerji Takibi	2
Ene 03	Dış Aydınlatma	1
Ene 04	Düşük Karbon Salınımı Tasarımı	3
Ene 05	Enerji Korunumlu Soğutma Sistemleri	3
Ene 06	Enerji Korunumlu Ulaşım	3
Ene 07	Enerji Korunumlu Laboratuvar Sistemleri	5
Ene 08	Enerji Korunumlu Ekipmanlar/Cihazlar	2
Ene 09	Korunumlu Alanlar	1
	ULAŞIM	13
Tra 01	Toplu Taşıma Erişilebilirliği	5
Tra 02	Kamusal Alanlara Ulaşım	2
Tra 03	Ulaşım İçin Alternatifler	2
Tra 04	Maksimum Araç Park Yeri Kapasitesi	2

Tablo 3.4: Devam

Tra 05	Ulaşım Planı	1
Tra 06	Ev - Ofis	1
	SU	10
Wat 01	Su Tüketimi	5
Wat 02	Su İzleme	1
Wat 03	Su Kaçak Tespiti ve Önlenmesi	3
Wat 04	Su Tasarruflu Ekipman	1
	MALZEME	12
Mat 01	Yaşam Döngüsü Etkisi	6
Mat 02	Sert peyzaj ve Sınır Koruma	N/A
Mat 03	Ürünlerinin Yetkili Firmalardan Temini	4
Mat 04	Yalıtım	N/A
Mat 05	Dayanıklılık ve Esneklik Tasarımı	1
Mat 06	Malzeme Verimliliği	1
	ATIKLAR	10
Wst 01	İnşaat alanı atık yönetimi	3
Wst 02	Geridönüştürülmüş Ürün	1
Wst 03a	Operasyonel Atık	1
Wst 03b	Operasyonel Atık	2
Wst 04	Bitiş Detayları	1
Wst 05	İklim Değişikliklerine Uyum	1
Wst 06	Fonksiyonel Uyumluluk	1
	ARAZİ KULLANIMI VE EKOLOJİ	10
Le 01	Arazi Seçimi	3
Le 02	Arazinin Ekolojik Değerleri ve Bunların Korunması	2
Le 03	Arazi Ekolojisine Etkiyi Azaltmak	N/A
Le 04	Arazi Ekolojisini Geliştirmek	3
Le 05	Biyoçeşitlilik Üzerinde Uzun Vadede Minimum Etki	2
	KİRLİLİK	13
Pol 01	Soğutucu Akışkanların Etkisi	4
Pol 02	Nox Emisyonu	2
Pol 03	Yüzey Suyu Uzaklaştırma	5
Pol 04	Gece Işık Kirliliğinin Azaltılması	1
Pol 05	Ses Kirliliğinin Azaltılması	1
	İNOVASYON	10
Inn 01	İnovasyon	10

BREEAM International New Construction 2016 malzeme kategorisi ve malzeme ile ilgili diğer kategori başlıkları ISO 14040 YDD yöntemi ve ISO 14020 çevresel ürün bildirimleri ile ilişkilidir. Malzeme yaşam döngüsü; ilgili kriterlere göre beşikten kapıya, beşikten şantiyeye veya beşikten mezara sürecinde incelenmektedir.

3.1.1.2. LEED

LEED (Leadership in Energy and Environmental Design), 1998 yılında USGBC (US Green Building Council) tarafından geliştirilerek, 19 adet pilot proje üzerinde test edilmeye başladı. Pilot programın başarısı ardından, ‘yeşil yapı’ kavramını tanımlayan 2000 yılında LEED 1.0 pilot modeli oluşturulmuştur. Günümüzde LEED tüm dünya genelinde en çok kullanılan sürdürülebilir bina derecelendirme sistemlerinden biridir. Gönüllü, uzlaşmaya dayalı ve piyasa odaklı bir yeşil bina değerlendirme aracı olan LEED, tüm yaşam döngüsünü ele alarak binaların çevresel döngü performansını, belirlenen ana kategoriler altındaki ölçütlere göre belirleyen bir değerlendirme aracıdır.

LEED sertifikasının amacı bina ve kent ölçeğinde çevreye duyarlı tasarım, uygulama ve işletme standartlarını geliştirmek ve yaymaktır. Bu amaçla kendini yenileyerek farklı versiyonlar ile güncelleyen LEED’in yayınlanan son versiyonu LEED v4.1 daha esnek olacak şekilde ve genel kullanıcı deneyimleri göz önünde bulundurularak geliştirilmiştir. LEED v4.1’ün diğer sürümlere göre ön plana çıkan özelliklerinden bazıları;

- **Malzemeler:** Malzemelerin insan sağlığına ve çevreye olan etkisi incelenmektedir.
- **Performansa Dayalı Olması:** Bina sakinlerinin konforunu arttırmaya dayalı bir performans yaklaşımını içermektedir.
- **Akıllı Şebeke:** Projelerde akıllı şebeke yaklaşımının avantajları ön plana çıkartılmaktadır.
- **Su Verimliliği:** Toplam bina suyu kullanımını değerlendirerek su verimliliğinin daha net ortaya çıkması sağlanmıştır [Web 6, 2022].

LEED v4.1 güncel sürümüne göre binaların çevresel performansları altı ana kategori altında toplam 100 puan üzerinden değerlendirilmektedir. Yenilik ve yerel öncelik kategorileri ise bonus 10 puan daha kazanılabilmektedir. Elde edilen puana göre LEED sertifikasına hak kazanılır. Tablo 3.5'te LEED derecelendirmesi ve puan aralıkları belirtilmiştir [LEED v4.1].

Tablo 3.5: LEED derecelendirmesi.

LEED derecelendirmesi	Puan
LEED Sertifika	40-49 puan arası
LEED Gümüş	50-59 puan arası
LEED Altın	60-79 puan arası
LEED Platin	80 puan ve üzeri

LEED v4.1 derece elde edebilmek ve puanlar edebilmek için bazı önkoşul ölçütler bulunmaktadır. Bu ön koşullar Tablo 3.6'da belirtilmektedir.

Tablo 3.6: LEED minimum uyulması gereken ölçütler.

Konu Başlıkları	Önkoşullar
Sürdürülebilir Alanlar	İnşaat Faaliyeti Kirlilik Önleme
Su verimliliği	Dış Mekan Su Kullanımının Azaltılması
	İç Mekan Su Kullanımının Azaltılması
	Bina Seviyesinde Su Ölçümü
Enerji ve Atmosfer	Temel Devreye Alma ve Doğrulama
	Minimum Enerji Performansı
	Bina Seviyesinde Enerji Ölçümü
	Temel Soğutucu Akışkan Yönetimi
Malzeme ve Kaynaklar	Geri Dönüştürülebilir Maddelerin Depolanması ve Toplanması
İç Mekan Çevre Kalitesi	Minimum İç Hava Kalitesi Performansı
	Çevresel Tütün Dumanı Kontrolü

Tablo 3.7: LEED çevresel konu başlıkları.

Çevresel Konu Başlıkları	Ağırlık Yüzdeleri
Konum ve Ulaşım	15%
Sürdürülebilir Alanlar	9%
Su verimliliği	10%
Enerji ve Atmosfer	30%
Malzeme ve Kaynaklar	12%
İç Mekan Çevre Kalitesi	15%
Yenilik	5%
Bölgesel öncelik	4%

LEED v4.1 sürümüne göre çevresel konu başlıkları ve ağırlık yüzdeleri Tablo 3.7’de gösterilmiştir. Bu tabloya göre LEED v.4.1’ün malzeme kategorisinin toplam yüzdedeki oranı %12’tür. Malzeme seçimi ile alakalı olup diğer konu başlıklarının altında hesap edilen (Düşük salımlı malzemeler ve gelişmiş iç mekan hava kalitesi stratejileri vb.) ölçütlerde hesaba katıldığında malzemelerle ilgili toplam 10 kriter analiz edilmektedir (Tablo 3.8).

Tablo 3.8: LEED v4.1 çevresel konu başlıkları (kategoriler) ve malzemelerle ilgili kriterler.

	Kredi	Bütünleştirici Süreç	1
1		Konum ve Ulaşım	16
	Kredi	Mahalle Geliştirme Lokasyonu için LEED	16
	Kredi	Hassas Arazi Koruması	1
	Kredi	Yüksek Öncelikli Site ve Adil Kalkınma	2
	Kredi	Çevresel Yoğunluk ve Çeşitli Kullanımlar	5
	Kredi	Kaliteli Ulaşıma Erişim	5
	Kredi	Bisiklet Tesisleri	1
	Kredi	Azaltılmış Park Alanı	1
	Kredi	Elektrikli Araçlar	1
2		Sürdürülebilir Alanlar	10
	önkoşul	İnşaat Faaliyeti Kirlilik Önleme	Gerekli
	Kredi	Saha değerlendirmesi	1
	Kredi	Habitatı Korumaya veya Yenile	2
	Kredi	Boş alan	1
	Kredi	Yağmur Suyu Yönetimi	3
	Kredi	Isı Adası Azaltma	2
	Kredi	Işık Kirliliği Azaltma	1
3		Su verimliliği	11
	önkoşul	Dış Mekan Su Kullanımının Azaltılması	Gerekli
	önkoşul	İç Mekan Su Kullanımının Azaltılması	Gerekli

Tablo 3.8: Devam

önkoşul	Bina Seviyesinde Su Ölçümü	Gerekli
Kredi	Dış Mekan Su Kullanımının Azaltılması	2
Kredi	İç Mekan Su Kullanımının Azaltılması	6
Kredi	Proses Suyu Kullanımını Optimize Edin	2
Kredi	Su Ölçümü	1
4	Enerji ve Atmosfer	33
önkoşul	Temel Devreye Alma ve Doğrulama	Gerekli
önkoşul	Minimum Enerji Performansı	Gerekli
önkoşul	Bina Seviyesinde Enerji Ölçümü	Gerekli
önkoşul	Temel Soğutucu Akışkan Yönetimi	Gerekli
Kredi	Gelişmiş Devreye Alma	6
Kredi	Enerji Performansını Optimize Edin	18
Kredi	Gelişmiş Enerji Ölçümü	1
Kredi	Şebeke Uyumlaştırma	2
Kredi	Yenilenebilir enerji	5
Kredi	Gelişmiş Soğutucu Akışkan Yönetimi	1
5	Malzeme ve Kaynaklar	13
önkoşul	Geri Dönüştürülebilir Maddelerin Depolanması ve Toplanması	Gerekli
Kredi	Bina Yaşam Döngüsü Etki Azaltma	5
Kredi	Çevresel Ürün Beyanları	2
Kredi	Malzeme İçeriği	2
Kredi	Kaynak Kullanımı	2
Kredi	İnşaat ve Yıkım Atık Yönetimi	2
6	İç Mekan Çevre Kalitesi	16
önkoşul	Minimum İç Hava Kalitesi Performansı	Gerekli
önkoşul	Çevresel Tütün Dumanı Kontrolü	Gerekli
Kredi	Gelişmiş İç Mekan Hava Kalitesi Stratejileri	2
Kredi	Düşük Yayan Malzemeler	3
Kredi	İnşaat İç Mekan Hava Kalitesi Yönetim Planı	1
Kredi	İç Mekan Hava Kalitesi Değerlendirmesi	2
Kredi	Termal rahatlık	1
Kredi	İç aydınlatma	2
Kredi	gün ışığı	3
Kredi	Kaliteli Görüntülemeler	1
Kredi	Akustik Performans	1
7	Yenilik	6
Kredi	yenilik	5
Kredi	LEED Akredite Profesyonel	1
8	Bölgesel Öncelik	4
Kredi	Bölgesel Öncelik: Spesifik Kredi	1
Kredi	Bölgesel Öncelik: Spesifik Kredi	1
Kredi	Bölgesel Öncelik: Spesifik Kredi	1
Kredi	Bölgesel Öncelik: Spesifik Kredi	1

3.1.1.3. BEST-Konut Sertifikası

Dünyada inşaat sektörünün sürdürülebilirlik açısından düzenlenmesi ve değerlendirilmesi amacı ile değerlendirme sistemlerine olan ilgi özellikle son yıllarda oldukça artmaktadır. Değerlendirme sistemlerindeki ölçütler, her ülkenin kendi iklim koşullarına göre hazırlanmıştır. Bu bağlamda ABD’de LEED (Leadership in Energy and Environmental Design) ve İngiltere’de BREEAM (Building Research Establishment Environmental Assessment Method) uluslararası bir hedef belirleyerek ön plana çıkmıştır. Ancak yeni güncellemeler ve içerik düzenlemeleri ile LEED ve BREEAM değerlendirme sistemleri de Türkiye şartlarında sınırlı kaldığı tespit edilmiştir. Bu amaçla Çevre Dostu Sürdürülebilir Binalar Derneği (ÇEDBİK) tarafından 2007 yılında BEST-Konut sertifika sistemi hazırlanmıştır.

BEST-Konut Sertifikası'nın amacı; sağlıklı toplumlar, yaşanabilir bir çevre ve gelişmiş bir ekonomi yaratmaktır. Bu bağlamda dokuz ana kategori altında binalar değerlendirilmiştir. Konut Kılavuzu kapsamında değerlendirilen ana başlıklar şunlardır:

- Bütünleşik Yeşil Proje Yönetimi
- Arazi Kullanımı
- Su Kullanımı
- Enerji Kullanımı
- Sağlık ve Konfor
- Malzeme ve Kaynak Kullanımı
- Konutta Yaşam
- İşletme ve Bakım
- Yenilikçilik

Değerlendirme sistemi ve kriterleri; ölçme ve belgeleme sistemine dayanarak gerçekleştirilmesinin yanı sıra tüm bina süreçlerini (planlama, tasarım, yapım, işletme ve kullanım, dönüşüm) kapsamaktadır. BEST-Konut değerlendirme sistemi sadece yeni binaları kapsamaktadır.

Projeler ana kategoriler başlıkları altında toplam 110 puan üzerinden değerlendirilmektedir. Sertifikaya hak kazanabilmek için bazı ön koşullar vardır ve

bu ön koşullar zorunludur. Ayrıca hak kazanılan toplam puanın %45'ten yüksek olması gerekmektedir Ölçme ve belgeleme sonucu sertifika almaya hak kazanan projeler 4 farklı sertifika derecesinden biri ile sertifikalandırılmaktadır. BEST-konut sertifika dereceleri Tablo 3.9'da belirtilmiştir.

Tablo 3.9: BEST-Konut derecelendirmesi.

BEST-konut derecelendirmesi	Puan
BEST Onaylı	46-64 puan arası
BEST İyi	65-79 puan arası
BEST Çok iyi	80-99 puan arası
BEST Mükemmel	99-110 puan arası

BEST-Konut sertifikasına göre çevresel konu başlıkları ve ağırlık yüzdeleri Tablo 3.10'da gösterilmiştir. Bu tabloya göre BEST-Konut malzeme kategorisinin toplam yüzdedeki oranı %13'tür. Malzeme seçimi ile alakalı olup diğer konu başlıklarının altında hesap edilen (Atıkların ayrılması ve kullanıcı erişimi ve atık teknolojileri) ölçütlerde hesaba katıldığında malzemelerle ilgili toplam 7 kriter analiz edilmektedir (Tablo 3.11).

Tablo 3.10: BEST-Konut çevresel konu başlıkları.

Çevresel Konu Başlıkları	Ağırlık Yüzdeleri
Bütünleşik Yeşil Proje Yönetimi	8%
Arazi Kullanımı	12%
Su Kullanımı	11%
Enerji Kullanımı	23%
Sağlık ve Konfor	13%
Malzeme ve Kaynak Kullanımı	13%
Konutta Yaşam	13%
İşletme ve Bakım	5%
Yenilikçilik	2%

BEST-Konut sertifika sisteminin değerlendirme başlıkları ve puanlama tablosu Tablo 3.11'de gösterilmektedir.

Tablo 3.11: BEST-Konut sertifikası puanlama tablosu.

DEĞERLENDİRME KRİTERLERİ	Toplam puan
1. Bütünleşik Yeşil Proje Yönetimi	9
Ön koşul - Entegre Tasarım	ÖN KOŞUL
1.1 Entegre Tasarım	2
1.2 Çevreye Duyarlı Müteahhit	2
1.3 İnşaat Atık Yönetimi	3
1.4 Gürültü Kirliliği	2
2. Arazi Kullanımı	13
2.1 Araziye Yerleşim	3
2.2 Afet Riski	3
2.3 Yoğunluk ve Konut Yapısı İlişkisi	2
2.4 Arazinin Yeniden Kullanımı	3
2.5 Kentsel Donatılara Yakınlık	2
3. Su Kullanımı	12
Ön koşul - Su Kullanımını Azaltma	ÖN KOŞUL
3.1 Su Kullanımını Azaltma	6
3.2 Su Kayıplarını Önleme	2
3.3 Atıksu Arıtma ve Değerlendirme	2
3.4 Yüzeysel Su Akışı	2
4. Enerji Kullanımı	26
Ön koşul 1 - Kontrol, İşletmeye Alma ve Kabul	ÖN KOŞUL
Ön koşul 2 - Enerji Verimliliği	ÖN KOŞUL
4.1 Enerji Verimliliği	15
4.2 Yenilenebilir Enerji Kullanımı	7
4.3 Dış Aydınlatma	1
4.4 Enerji Verimli Beyaz Eşyalar	1
4.5 Asansörler	2
5. Sağlık ve Konfor	14
5.1 Isıl Konfor	3
5.2 Görsel Konfor	3
5.3 Taze Hava	3
5.4 Kirleticilerin Kontrolü	2
5.5 İşitsel Konfor	3
6. Malzeme ve Kaynak Kullanımı	14
6.1 Çevre Dostu Malzeme	3
6.2 Mevcut Bina Elemanlarından Yararlanılması	3
6.3 Malzemenin Yeniden Kullanımı	3
6.4 Yerel Malzeme Kullanımı	3
6.5 Dayanıklı Malzeme	2
7. Konutta Yaşam	14
7.1 Evrensel ve Kapsayıcı Tasarım	2

Tablo 3.11: Devam

7.2 Güvenlik	2
7.3 Spor ve Dinlenme Alanları	2
7.4 Sanat	1
7.5 Ulaşım	3
7.6 Otopark Alanı	2
7.7 Evden Çalışma	2
8. İşletme ve Bakım	6
8.1 Atıkların Yerinde Ayrılması ve Kullanıcı Erişimi	2
8.2 Atık Teknolojileri	1
8.3 Bina Kullanım ve Bakım Kılavuzu	1
8.4 Tüketim Değerlerinin Takibi	2
9. Yenilikçilik	2
9.1 Yenilikçilik	1
9.2 Onaylı Danışman	1

3.1.2 Yeşil Malzeme Değerlendirme Araçları

Yeşil bina değerlendirme araçları, binaları çevresel performansını, sistematik ve ekonomik bir şekilde değerlendirerek azaltmak amacıyla kullanılan yöntemlerdir. Yeşil malzeme değerlendirme araçları ise, malzemelerin YDD yöntemine bağlı olarak değerlendirildiği ve tüm dünyada BREEAM, LEED gibi yeşil bina değerlendirme araçlarının malzeme kategorilerinde kabul görmüş ve uygulandığı takdirde kredi kazandıran değerlendirme sistemleridir.

Yeşil malzeme değerlendirme araçları, kullanım yerine göre karbon ayak izi, enerji ve su tüketimi gibi nicel çevresel göstergeleri belgeleyebilmeyi amaçlayan ve üreticilerin çevresel etkilerini beyan ederek çevresel duyarlılığını gösteren ve malzeme seçimi sırasında ise mimar ve mühendislerle karşılaştırmalı olarak seçim şansı sunabilen belgelendirme sistemleridir. Günümüzde tüm dünyada EPD, Bees, Guide to Specification gibi uluslararası alanda kabul gören yeşil malzeme değerlendirme araçları bulunmaktadır. Bu çalışma kapsamında, Türkiye’de de son yıllarda önem kazanan EPD sertifikası incelenerek, mimar ve mühendisler için malzeme seçimi sırasında sertifikadaki veriler örnek iki sertifika üzerinden karşılaştırmalı olarak analiz edilecektir.

Çevresel Ürün Bildirgesi; EPD (Environmental Product Declarations), herhangi bir ürün veya malzemenin kullanım sürecindeki çevresel performansını veya etkisini sistematik bir şekilde bildiren bir belgedir. İnşaat sektöründe EPD belgeleri, en sürdürülebilir seçeneği seçmek için farklı malzeme ve ürünlerin etkilerini karşılaştırmayı mümkün kılarak karbon emisyonunun azaltılmasını desteklemektedir. Bu sayede;

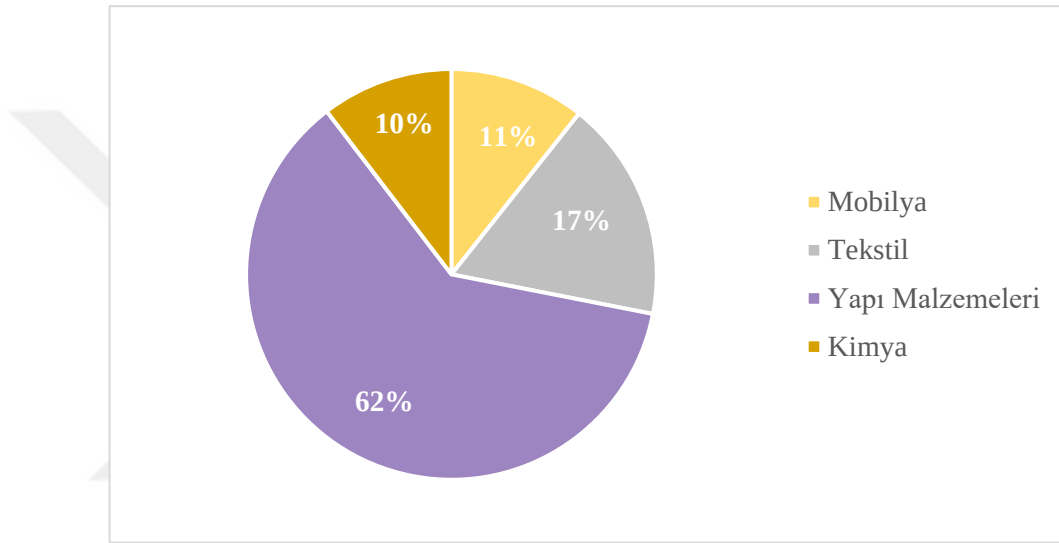
- Yapım sektöründeki paydaşlara projeleri için en sürdürülebilir seçeneği seçebilmektedir.
- Üreticiler, ürünlerinin etkisini optimize edebilir ve karbon değerlerini şeffaflıkla pazarlayabilmektedir.
- EPD belgeleri, LEED ve BREEAM gibi sertifikasyon programlarında EPD ve YDD kredilerinin elde edilmesine yardımcı olmaktadır.

EPD belgeleri, ISO 14025'e göre tanımlanan, bir ürünün veya servisin çevre performansını ISO 14040 serisi çerçevesinde belirtilmiş parametreler bazında önceden belirlenmiş kategorilere göre (ham madde eldesi, enerji kullanımı ve verimliliği; malzeme ve kimyasal madde içeriği; hava, su ve toprağa verilen emisyonlar; atık oluşumu) nicel olarak değerlendiren ve beyan eden deklarasyonlardır. Ticaret odaklı olup, Yaşam Döngüsü Değerlendirmesi (YDD) kapsamında ekonomik faaliyetlerin ekolojik ayak izini ve üretim sürecinde meydana gelen çeşitli emisyon değerlerini dikkate almaktadır. Bağımsız şekilde, üreticinin sağladığı bilgilerle hazırlanan EPD'ler, ürünün teknik tanımı, üretici firma detayları ve YDD sonuçlarından meydana gelmektedir [Web 7, 2022]. Tüm Dünya'da sektörel bazda en kapsamlı içeriğe sahip olan EPD, son yıllarda Türkiye'de de üreticiler tarafından kullanılan bir belge olarak ön plana çıkmaktadır.

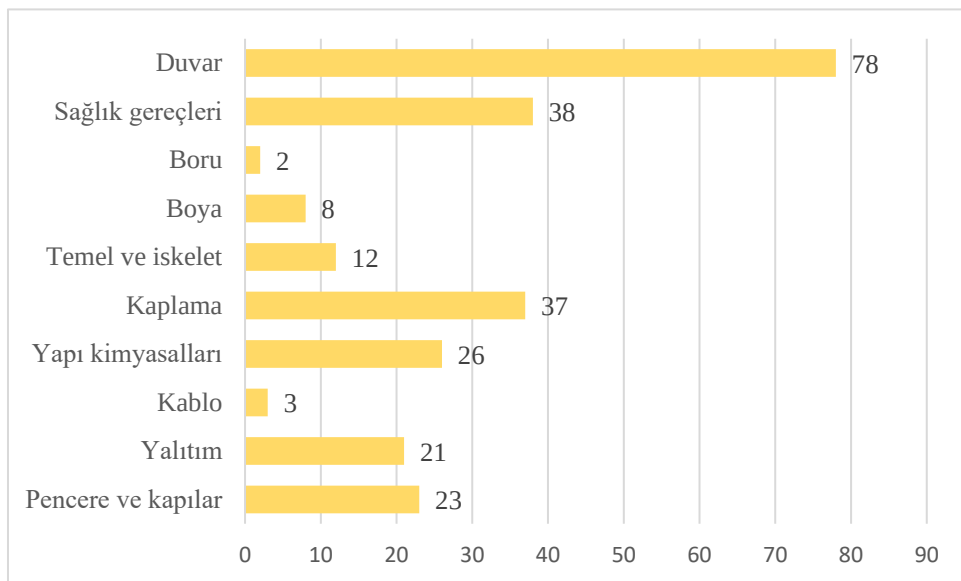
Uluslararası Standartlar Teşkilatı (ISO), çevre etiket tiplerini üç kategoride sınıflandırmaktadır. Bunlar, ISO 14020-25 standartları serisi çerçevesinde Tip 1, Tip 2 ve Tip 3 çevre etiketler olarak adlandırılmaktadır. Tip 3 olarak tanımlanan EPD, LCA standartlarına uygun, üretiminde hammaddenin doğadan elde edilmesi, üretimi ve yaşam sonuna kadar olan tüm süreçlerin şeffaf ve nicel olarak bilimsel bir yaklaşımla değerlendirildiği ve ürünün çevre performansını belirli etki kategorilerine

göre hesaplandığı bir etiketleme olarak tanımlanmaktadır. Bu etiketleme yöntemi ile yapı inşaat sektöründe karbon emisyonunun sıfıra indirilmesinde etkin olması hedeflenmektedir.

2014-2020 yılları arası EPD belgelerinin ana sektöre göre dağılımı Şekil 3.3'te gösterilmiştir [Web 7, 2022]. Bu verilere göre EPD belgesine sahip ana sektörlerden, yapı malzemeleri sektörü %62 (219) ilk sırada yer almaktadır. Yapı malzemeleri sektörünü sırasıyla, tekstil %17 (62), mobilya %11 (38) ve kimya %10 (37) takip etmektedir [Web 7, 2022].



Şekil 3.3: Ana sektörler göre EPD belgeleri dağılımı.



Şekil 3.4: Yapı malzemeleri alt sektörlerine göre EPD belgeleri dağılımı.

Yapı malzemeleri ana sektöründe EPD belgesi alan ürünlerin alt sektörler göre dağılımı Şekil 3.4’te gösterilmiştir. Buna göre EPD belgesi alan duvar malzemeleri 78 ürün (%31) ile ilk sırada yer almaktadır. Sırasıyla; sağlık gereçleri 38 ürün (%15), kaplama 37 ürün (%15), yapı kimyasalları 26 ürün (%11), yalıtım 21 ürün (%9), temel ve iskelet 12 ürün (%5), boya 8 ürün (%3), kablo 3 ürün (%1) ve boru 2 ürün (%1) belgeleri takip etmektedir [Web 7, 2022].

EPD belgeleri, üreticinin seçimine göre yaşam döngü süreçlerinden beşikten kapaıya veya beşikten mezara süreçlerini kapsayabilmektedir. Buna göre her ürün için bilgi modülleri oluşturulmaktadır. Daha sonra PCR (Product Category Rules – Ürün Kategori Kuralları) kurallarına göre ürünün hesaplamaları yapılmaktadır. PCR, EPD belgesi alınacak her ürün için, YDD aşamalarını, parametreleri ve raporlama süreçlerini içeren kurallardır.

Tablo 3.12: EPD sistem modülü.

Üretim aşaması			Tasarım/ yapım aşaması		Kullanım aşaması							Yok etme aşaması				Faydalar ve yükler
Hammadde çıkarılması	Nakliye	Üretim	Nakliye	Yapım/uygulama Süreci	Kullanım aşaması	Bakım	Onarım	Değiştirme	Yenileme	Operasyonel enerji kullanımı	Operasyonel su kullanımı	Yeniden yapım yıkım	Nakliye	Atık süreci	Yok etme	Faydalar ve yükler
A1	A2	A3	A4	A5	B1	B2	B3	B4	B5	B6	B7	C1	C2	C3	C4	D

Her EPD belgesine sahip olan her ürün, Tablo 3.12’deki üretim, tasarım ve yapım, kullanım, yok etme ve faydalar ve yükler aşamalarının bir ya da birden fazla ana başlığı değerlendirme kapsamına almaktadır. Buna göre her süreç (A1, A2, B1 vb.) için etki kategorisi değerleri hesaplanır. Bu değerlerin tamamı EPD ürün belgesinde yer almaktadır. Bu verilere göre malzeme seçimi sırasında veriler karşılaştırılarak daha az çevresel etkisi olan malzeme tercih edilebilmektedir. Örnek çalışma olarak iki farklı üreticiye ait alüminyum profil malzemesine ait veriler karşılaştırmalı olarak analiz edilmiştir.

İki alüminyum profil malzemesi de A1, A2, A3, A4, C1, C2, C3, C4 ve D süreçleri dahil edilerek hesaplamaları yapılmıştır. A firmasına ait alüminyum profilinin etki kategorisi verileri Şekil 3.5’tedir. B firmasına ait alüminyum profilinin

etki kategorisi verileri Şekil 3.6'dadır. Tablo verilerine göre, örnek olarak AP (karasal ve temiz suda asitlenme) verileri karşılaştırılırsa, A üreticisine ait alüminyum profile göre 0,1 mol iken, B üreticisine ait alüminyum profil 0,075 mol etkiye sahiptir. Tablo sonucuna B firmasına ait alüminyum profilin AP etki değerinin, A üreticisine göre daha düşük olduğu tespit edilmiştir. Çalışma kapsamında incelenen EPD belgeleri ile, AP verilerinin karşılaştırmalı olarak değerlendirilmesi gibi diğer etki kategorileri de karşılaştırmalı analiz edilerek çevresel etkisi daha düşük malzeme seçmek mümkündür.

Impact category	Unit	A1-A3	A4	C1	C2	C3	C4	D
GWP - Fossil	kg CO ₂ eq	19.2	0.2	28.8 x10 ⁻⁶	16.3 x10 ⁻³	0	2.03 x10 ⁻³	-4.45
GWP - Biogenic	kg CO ₂ eq	-65.9 x10 ⁻³	43.1 x10 ⁻⁶	0.87 x10 ⁻⁶	4.85 x10 ⁻⁶	0	21.4 x10 ⁻⁶	14.1 x10 ⁻³
GWP - Luluc	kg CO ₂ eq	25 x10 ⁻³	58.7 x10 ⁻⁶	62.1 x10 ⁻⁹	4.84 x10 ⁻⁹	0	1.65 x10 ⁻⁶	-5.73 x10 ⁻³
GWP - Total	kg CO ₂ eq	19.1	0.2	29.7 x10 ⁻⁶	16.3 x10 ⁻³	0	2.05 x10 ⁻³	-4.44
ODP	kg CFC11 eq	0.76 x10 ⁻⁶	45.2 x10 ⁻⁹	2.22 x10 ⁻¹²	3.74 x10 ⁻⁹	0	0.25 x10 ⁻⁹	-0.16 x10 ⁻⁶
AP	mol H ⁺ eq	0.1	0.86 x10 ⁻³	0.22 x10 ⁻⁶	46.9 x10 ⁻⁶	0	13.8 x10 ⁻⁶	-23.9 x10 ⁻³
EP - Freshwater	kg P eq	7.73 x10 ⁻³	15.8 x10 ⁻⁶	29.8 x10 ⁻⁹	1.33 x10 ⁻⁶	0	0.7 x10 ⁻⁶	-1.82 x10 ⁻³
*EP - Freshwater	kg PO ₄ eq	23.6 x10 ⁻⁶	48.3 x10 ⁻⁶	91.1 x10 ⁻⁹	4.06 x10 ⁻⁶	0	2.14 x10 ⁻⁶	-5.58 x10 ⁻³
EP - Marine	kg N eq	17.4 x10 ⁻³	0.25 x10 ⁻³	29.9 x10 ⁻⁹	8.98 x10 ⁻⁶	0	3.24 x10 ⁻⁶	-3.91 x10 ⁻³
EP - Terrestrial	mol N eq	0.17	2.70 x10 ⁻³	0.49 x10 ⁻⁶	99.8 x10 ⁻⁶	0	35.7 x10 ⁻⁶	-40.3 x10 ⁻³
POCP	kg NMVOC eq	51 x10 ⁻³	0.82 x10 ⁻³	67.2 x10 ⁻⁹	37.9 x10 ⁻⁶	0	10.3 x10 ⁻⁶	-11.9 x10 ⁻³
ADPE	kg Sb eq	44.4 x10 ⁻⁶	0.58 x10 ⁻⁶	12.4 x10 ⁻¹²	49.3 x10 ⁻⁹	0	1.23 x10 ⁻⁹	-10.8 x10 ⁻³
ADPF	MJ	227	3.01	0.6 x10 ⁻³	0.25	0	29.9 x10 ⁻³	-52.3
WDP	m ³ depriv.	111	20.5 x10 ⁻³	8.31 x10 ⁻⁶	1.70 x10 ⁻³	0	0.83 x10 ⁻³	-0.54
PM	disease inc.	0.74 x10 ⁻⁶	13.8 x10 ⁻⁹	0.8 x10 ⁻¹²	1.04 x10 ⁻⁹	0	0.18 x10 ⁻⁹	-0.17 x10 ⁻⁶
IR	kBq U-235 eq	0.19	14.3 x10 ⁻³	16.4 x10 ⁻⁶	1.21 x10 ⁻³	0	0.19 x10 ⁻³	-41.6 x10 ⁻³
ETP - FW	CTUe	377	2.15	0.35 x10 ⁻³	0.18	0	31	-89.7
HTTP - C	CTUh	15.4 x10 ⁻⁹	62.7 x10 ⁻¹²	7.65 x10 ⁻¹⁵	5.17 x10 ⁻¹²	0	1.73 x10 ⁻¹²	-3.72 x10 ⁻⁹
HTTP - NC	CTUh	0.36 x10 ⁻⁶	2.45 x10 ⁻⁹	0.28 x10 ⁻¹²	0.2 x10 ⁻⁹	0	48.9 x10 ⁻¹²	-87.6 x10 ⁻⁹
SQP	Pt	30.7	2	0.12 x10 ⁻³	0.17	0	34.7 x10 ⁻³	-6.95

Şekil 3.5: A üreticisine ait alüminyum profil etki kategorisi verileri.

Impact Category	Unit	A1-A3	A4	C1	C2	C3	C4	D
GWP - Fossil	kg CO ₂ eq	9.66	0.019	0.039	0.009	0	0.002	-6.54
GWP - Biogenic	kg CO ₂ eq	0.018	12.9E-6	357E-6	6.60E-6	0	4.51E-4	-0.013
GWP - Luluc	kg CO ₂ eq	0.185	6.09E-6	373E-6	2.65E-6	0	1.86E-6	-0.134
GWP - Total	kg CO ₂ eq	9.87	0.019	0.040	0.009	0	0.002	-6.69
ODP	kg CFC-11 eq	760E-9	4.50E-9	1.10E-9	2.14E-9	0	227E-12	-511E-9
AP	mol H ⁺ eq	0.075	92.8E-6	257E-6	28.0E-6	0	13.4E-6	-0.052
EP - Freshwater	kg P eq	0.004	1.33E-6	41.2E-6	643E-9	0	632E-9	-0.002
*EP - Freshwater	kg PO ₄ eq	0.011	4.07E-6	126E-6	1.97E-6	0	1.94E-6	-0.007
EP - Marine	kg N eq	0.010	21.6E-6	41.8E-6	6.26E-6	0	4.09E-6	-0.007
EP - Terrestrial	mol N eq	0.102	237E-6	379E-6	68.5E-6	0	35.1E-6	-0.069
POCP	kg NMVOC	0.034	79.8E-6	104E-6	26.9E-6	0	10.5E-6	-0.023
ADPE	kg Sb eq	46.2E-6	318E-9	94.2E-9	155E-9	0	15.4E-9	-30.1E-6
ADPF	MJ	95.0	0.297	0.430	0.141	0	0.028	-62.4
WDP	m ³ depriv.	3.42	0.001	0.018	459E-6	0	0.001	-1.67
PM	disease inc.	1.01E-6	1.57E-9	1.10E-9	766E-12	0	183E-12	-635E-9
IR	kBq U-235 eq	1.04	0.002	0.001	0.001	0	165E-6	-0.706
ETP - FW	CTUe	276	0.235	376E-3	113E-3	0	30.9	-192
HTTP - C	CTUh	27.3E-9	6.11E-12	6.90E-12	2.73E-12	0	1.75E-12	-19.0E-9
HTTP - NC	CTUh	390E-9	254E-12	330E-12	123E-12	0	49.8E-12	-276E-9
SQP	Pt	18.6	0.326	0.025	0.162	0	0.035	-11.1

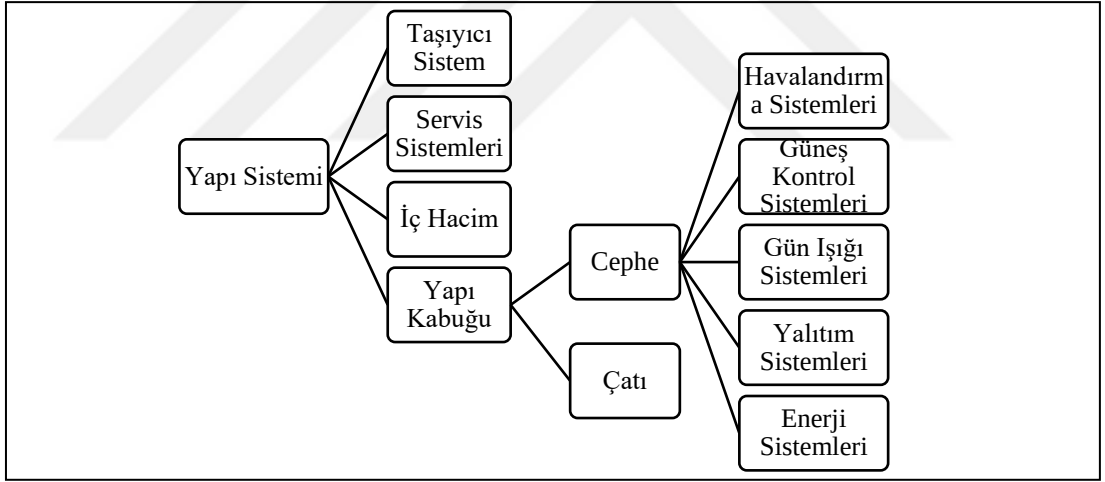
Şekil 3.6: B üreticisine ait alüminyum profil etki kategorisi verileri.

3.2. Cephe Kavramı ve Cephelerin Sürdürülebilirliği

3.2.1 Cephe kavramı

Sözlükte “Bir şeyin veya yapının ön tarafta bulunan bölümü” anlamına gelen “cephe” kelimesi, dilimize Arapça “ön, yüz” anlamına gelen “cebhe” kelimesinden geçmiştir [TDK,2022]. Oxford çevrimiçi sözlüğünde ise cephe “bir binanın ön yüzü” olarak tanımlanmıştır [Web 8, 2022].

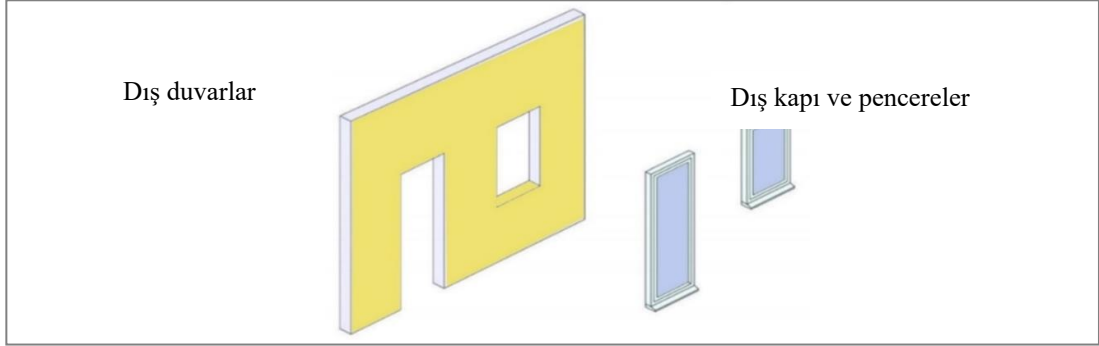
Cephe yapı kabuğunun alt bileşenlerden kapı, pencere ve dış duvarın bir araya gelmesinden oluşarak, iç mekan ile dış mekan arasındaki dengeyi kuran; kullanıcı ihtiyaçlarını sağlayan ve çevresel etmenleri kontrol altında tutan yapı kabuğuna ait bileşendir. Schittich’e göre ise cephe yapı alt sistemlerinden yapı kabuğu alt sisteminin çatı ile birlikte iki bileşeninden birisidir [Schittsch, 2001]. Yapı sisteminin farklı düzeylerdeki açılımları Şekil 3.7’de gösterilmiştir.



Şekil 3.7: Yapı sisteminin farklı düzeylerdeki açılımları.

Yapı kabuğunun alt bileşeni olarak cephe, yapının formuna, kullanılan malzemelere, sistemsel özelliklerine göre değişmektedir ve buna göre sınıflandırılmaktadır. Bu bağlamda, diğer tanımlardan da anlaşıldığı üzere cephe, birçok parametreye bağlı olarak sınıflandırılan karmaşık bir sistemdir. Cephe sistemlerini, bilimsel bir değerlendirme kapsamında inceleyebilmek için sistematik bir şekilde sınıflandırılması gerekmektedir. Bu çalışmada cephe sistemleri,

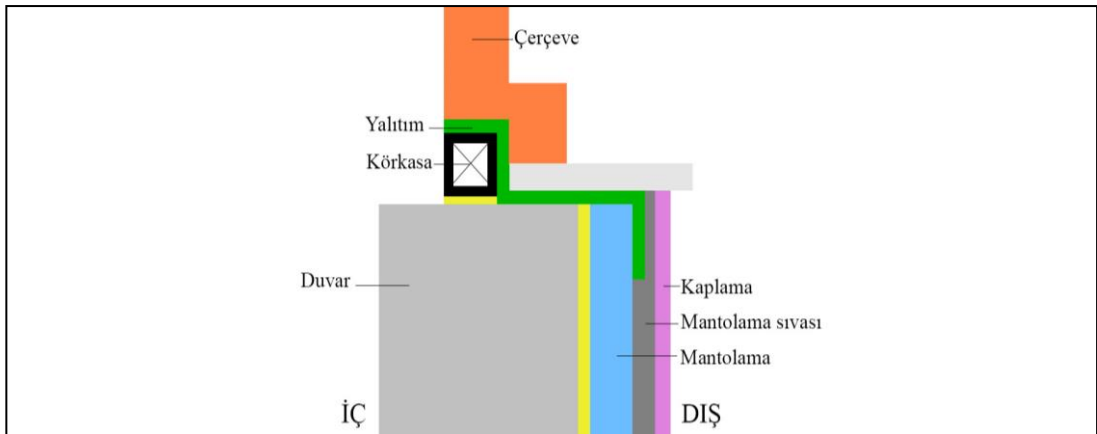
saydamlık ve opaklık açısından değerlendirilmiştir. Buna göre, cephe sistemlerinin opak kısımları dış duvarlardan, saydam kısımları ise dış kapı ve pencerelerden oluşmaktadır.



Şekil 3.8: Bina cephe sistemini oluşturan elemanlar.

Dış duvarlar, yapıların iç ve dış ortamını ayıran ve cephe sisteminin taşıyıcı, yalıtıcı ve örtücü işlevlerini üstlenen yapı elemanıdır. Genellikle dış duvarlar, opak yüzeyleri oluştururlar. Dış duvarlar; taşıyıcı malzemeler, yalıtım malzemeleri, kaplama malzemeleri ve bitirme malzemelerinden oluşmaktadır.

Dış kapı ve pencereler, iç ve dış mekan ortamı arasında geçiş ve havalandırma gibi görevleri üstlenen, gerektiği zaman açılıp kapanabilen ve genelde doğrama sistemi ve camdan meydana gelen yapı elemanlarıdır. Bu yapı elemanları, kasa, kanat, cam ve yalıtım malzemesi gibi bileşenlerden meydana gelmektedir. Bu çalışmada, cephe sisteminin dış duvar, dış kapı ve pencerede kullanılacak malzemeler ele alınmıştır. İç sıva ve boya malzemeleri çalışma kapsamında cephe sistem kesitine dahil edilmemiştir.



Şekil 3.9: Cephe sistem kesiti.

3.2.2. Cephe Malzemelerinin Sürdürülebilirliği

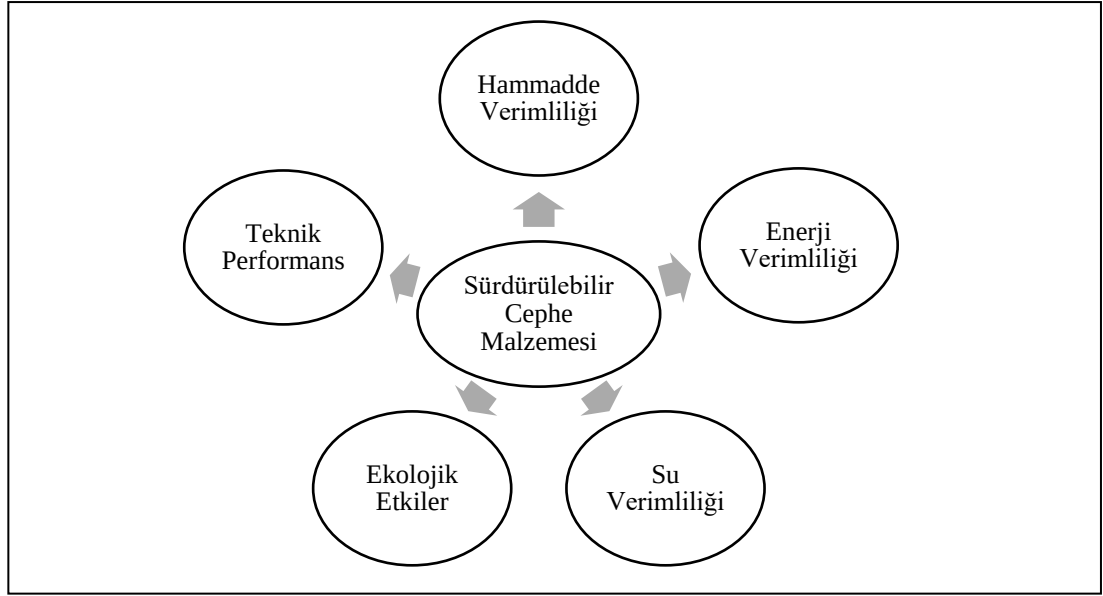
Aksamija'ya göre cephe, enerji bütçesine ve herhangi bir binanın konfor ölçütlerine en önemli katkıda bulunan unsurlardan biridir ve enerji ve diğer kaynaklar tükenmeye devam edildiğinde, iç ortamdan memnuniyetimizi sürdürmemiz için bu kaynakları daha az tüketen teknoloji ve stratejilerle cephe tasarımı yapmak günümüzde başlıca hedeflerdendir [Aksamija, 2013].

Cepheler, yapıların iç ve dış ortam dengesini kuran, enerji sistemleri ile doğrudan bağlantılı olan ve çevresel etkilere en fazla maruz kalan yapı bileşenidir. Bu amaçla enerji tüketimi ve karbon emisyonu düşük cepheler tasarlamak, binaların çevresel etkilerini düşürmekte önemli rol oynamaktadır. Çalışma kapsamında, sürdürülebilir cephe tasarımı parametrelerinden biri olan sürdürülebilir cephe malzemesi seçim kriterleri değerlendirmeye alınarak bir kontrol listesi oluşturulması hedeflenmiştir.

Binalarda toplam enerji ve kaynak tüketimine olan etkisi göz önüne alındığında sürdürülebilir cepheler malzeme seçimi, binaların çevresel etkilerini azaltmakta önemli bir rol oynamaktadır. Cephe malzemelerinin sürdürülebilirliği, malzemenin hammadde kaynaklarına yakın olması durumu, geri dönüştürülebilirliği, taşıma ve kullanım sırasında kullanılan enerjinin hangi şekilde üretildiği, kullanım sırasındaki ısıtma ve soğutma için tüketilen enerji miktarı vb. birçok parametreye bağlı değerlendirilmektir. Ancak cephelerin doğrudan dış etkenlere maruz kalması sebebiyle malzemelerin suya dayanım, yangına dayanım, hava geçirgenliği, kirlenme ve bakım vb. fiziksel ve kimyasal özellikleri de içeren teknik performansı da göz önünde bulundurularak, sürdürülebilir cephe malzemesi seçimine bütüncül bir yaklaşımla ele alınması gerekmektedir.

Sürdürülebilir cephe malzemelerini etkileyen tüm parametreler Şekil 3.10'da gösterildiği hammadde verimliliği, enerji verimliliği, su verimliliği, ekolojik etkiler ve teknik performans olmak üzere 5 kategori altında değerlendirilmiştir. Değerlendirmeye alınan her bir kategorinin kendi içinde farklı alt kriterleri ve içeriği bulunmaktadır. Belirlenen her bir parametrenin içeriği aşağıdaki gibidir;

Hammadde verimliliği; yerel, geri dönüştürülmüş veya yeniden kullanılabilir cephe malzemelerinin seçilmesi ile YDD boyunca kaynak verimliliğine katkı sağlamayı amaçlayan parametrelerden birisidir.



Şekil 3.10: Sürdürülebilir cephe malzemesi seçim kriterlerini etkileyen parametreler.

Cephe malzemelerinde enerji verimliliği, yapı sistemlerinde operasyonel ve gömülü enerjinin azalmasına sağlayan; malzemenin termal direnci, ısı geçirgenlik katsayısı, kaynağa olan mesafesi vb. ölçütleri içeren parametrelerden birisidir. Malzemelerin üretim, yapım, yıkım bertaraf süreçlerinde düşük enerji talep edilmektedir. Özellikle cephe malzemeleri, ısıtma ve soğutma yüklerine doğrudan etki etmektedir. Bu sebeple bina sakinlerinin de sağlık ve konforu göz önünde bulundurularak, iklime uygun termal dirence ve kalınlığa bağlı cephe malzemeleri seçilmelidir.

Sürdürülebilir cephe malzemesi parametrelerinden biri olan su verimliliği ile YDD boyunca su tasarrufu sağlayacak amaçlanmaktadır.

Ekolojik etkiler parametresi ile düşük karbonlu cephe malzemeler ve uçucu organik bileşeni olmayan ya da düşük olan malzemeler seçilerek, YDD boyunca daha düşük çevresel etkilere sahip çevre dostu bina cephelerinin tasarlanması mümkündür.

Teknik performans; özellikle cephe malzemelerinin dış ortam ile doğrudan ilişkide olması sebebiyle önem taşımaktadır. YDD boyunca malzemelerin, dayanıklılık, onarım kolaylığı, çürümeye karşı direnç renk direnci, yangına dayanım vb. fiziksel ve kimyasal özellikleri göz önünde bulundurularak hava koşullarına ve yangına dayanıklı, servis ömrü uzun sürdürülebilir cephe sistemleri tasarlanmalıdır.

4. SÜRDÜRÜLEBİLİR CEPHE MALZEMESİ SEÇİM KRİTERLERİNİN BELİRLENMESİ

Yapı malzemesi seçimi, inşaat sektöründe sürdürülebilirliği etkileyebilecek çeşitli faktörlerden biridir [Behzadian ve diğerleri, 2012]. Yapı malzemelerinden kaynaklanan çevresel etkiler konusunda fikir ayrılığı kaçınılmazdır, ancak toplam etkiyi azaltmak için sürdürülebilirlik kriterleri yönlendirilme kabiliyetine sahiptir [Torgal ve Jalali, 2011].

Malzeme seçimi, yapı kullanıcıları ve çevre sağlığı için oldukça önemli bir yere sahiptir. Cephe malzemelerinin toksik içeriğe sahip olması insan sağlığına zarar verebilmektedir. Sürdürülebilir cephe malzemeleri ise;

- Çevreye duyarlı ve saygılıdır.
- Hammaddeleri verimliliği ön plandadır.
- İçeriğinde toksik bileşen bulundurmaz.
- Karbon salımı minimum seviyededir.
- Tüm yaşam döngüsü boyunca daha az enerji ve su harcanmaktadır.
- Kullanım süreci tamamlanıncaya kadar doğal çevre üzerinde zararlı etki oluşturmazlar.
- Geri dönüştürülebilir veya yeniden kullanılabilirler [Spiegel ve Meadows 2010].

Tüm bu belirtilen düşük çevresel etkilere sahip malzemeyi seçebilmek, mimarlar için önemli bir karar problemidir. Özellikle malzeme seçimi sırasında çok sayıda malzeme alternatifinin olması karar verme sürecini zorlaştırmaktadır. Bu bağlamda sürdürülebilir malzeme seçimi için birçok karar verme yöntemlerinden yararlanılabilmektedir.

Binalar birçok karmaşık alt bileşenden oluşmaktadır. Her yapı bileşenin çevresel etkileri ve enerji performansı farklıdır. Binaların çevresel etkilerini ve enerji performansını önemli ölçüde etkileyecek ana yapı bileşenlerinden biri binanın cephesidir. Cephe malzemelerinin diğer yapı malzemelerine göre çevresel etmenler karşısında taşıyıcılık, su yalıtımı, ısı yalıtımı, hava geçirimsizliği vb. performansları ön plana çıktığı için, sürdürülebilir cephe malzemesi seçimi sırasında bütüncül

yaklaşım ile ele alınması gerekmektedir. Çalışmanın bu bölümünde ilk olarak, meta analizi hakkında bilgi verildikten sonra, sürdürülebilir cephe malzemesi seçimine yönelik oluşturulması hedeflenen kontrol listesindeki ölçütleri oluşturabilmek amacı ile literatür araştırmasını sonucu belirlenen bilimsel çalışmalar meta analizi yöntemi ile incelenmiştir. Elde edilen tüm ölçütlerin sıklık analizi yapılmış ve belirlenen ölçütler tablolastırılmıştır.

4.1. Meta Analizi

Yunanca’da "sonra" anlamına gelen "meta" sözcüğünden hareketle meta analizi kavramının bir alanda analizlerin yapılmasından sonra gerçekleştirilen analiz olduğuna varılabilir [Bland, 2006]. İngilizcede ise meta kelimesi “bir şeyin normal sınırlarının dışında” olarak ifade edilmektedir [Cambridge Dictionary, 2008]. Şen (2018) tarafından yapılan bir çalışmada ise “herhangi bir konu hakkındaki büyük resmi ortaya koymak için sistematik şekilde yapılan nicel bir inceleme” olarak tanımlanmıştır [Şen, 2018].

Meta analizi, “analizlerin analizi” anlamına gelmektedir [Glass, 1976]. Önceden belirlenmiş bir konuda, birbirinden bağımsız birden çok çalışmanın istatistiksel olarak analizini yapma metodudur. Bir kaynak tarama yönetimi olan meta analizi, çalışmaların bulgularının birleştirilmesi ve bu bulgular doğrultusunda yapılan eleştirilerin nicel verilerle birlikte tekrar gözden geçirilmesi yöntemidir [Akgöz ve diğ., 2004].

Meta analizinde, tek bir yargıya güvenilmekten ziyade nicel yöntemler kullanılmaktadır [Mosteller ve Colditz, 1996]. Ayrıca yöntem, araştırmacılar tarafından en çok tercih edilen yöntemlerden biri olarak kabul edilmektedir [Grant ve Booth, 2009]. Akademik araştırmaların planlanmasından yönetimine kadar olan karar verme süreçlerinde fayda sağlayan bu yöntem, aynı zamanda akademik çalışmaların geliştirilmesinin yollarını, konu ile ilgili ana ölçütleri, araştırma metodlarını ve araçlarını ilişkilendirmeye yaramaktadır [Betts ve Lansley, 1993], [İlter ve diğ., 2008].

4.2. Verilerin Toplanması

Hazırlanması hedeflenen sürdürülebilir cephe malzeme seçimine yönelik kontrol listesindeki her bir ölçütün oluşturulabilmesi için, belirlenen bilimsel çalışmaların sistematik değerlendirmesini ele alan bu çalışmadaki genel araştırma soruları şunlardır;

- Sürdürülebilir cephe malzemesi seçimi için sürdürülebilir kalkınmanın hangi boyutları (çevresel, ekonomik ve sosyal) değerlendirmeye alınmıştır?
- Cephe malzemesi seçimi sırasında mevcut yaklaşım ve teknikler nelerdir?
- Sürdürülebilir cephe malzeme seçimi için değerlendirmeye alınan kategoriler ve ölçütler nelerdir?
- Belirlenen sürdürülebilir cephe malzemesi seçim kriterlerinin literatürde incelenme sıklıkları nelerdir?
- Belirlenen seçim kriterlerinin önem dereceleri nelerdir?

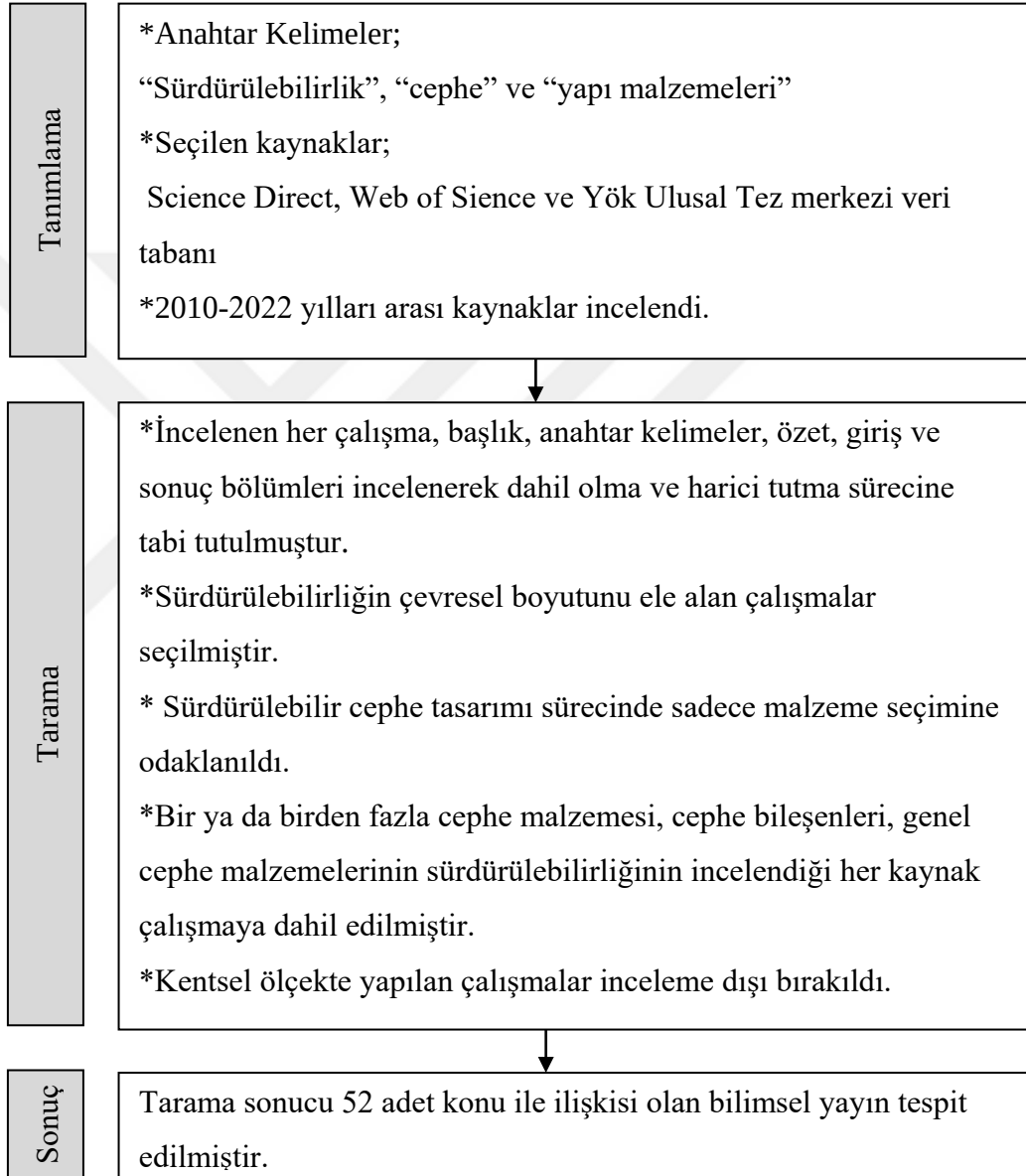
Çalışma kapsamında “Science Direct”, “Web of Science” ve “YÖK Ulusal Tez Tarama Merkezi” veri tabanları yararlanılarak, güncel verilerden oluşan bir kontrol listesi oluşturabilmek amacı ile 2010 yılı ve sonrası bilimsel araştırmalar incelemeye alınmıştır. Belirlenen veri tabanlarında tarama, “sürdürülebilir (sustainability)”, “cephe (facade)” ve “yapı malzemeleri (building materials)” anahtar kelimeleri ile sınırlandırılmıştır. Tarama süreci Şubat 2022 tarihinde gerçekleştirilmiştir.

Belirlenen anahtar kelimelere göre aramalar yapıldıktan sonra, seçim aşamasının önemi nedeniyle her yayın, dahil etme ve hariç tutma kriterlerinden oluşan bir dizi sürece tabi tutulmuştur. İlk olarak belirlenen veri tabanlarında seçilen anahtar kelimeler ile 2010 yılı ve sonrasında toplam 2312 adet bilimsel yayın tespit edilmiştir.

Değerlendirmeye alınan her yayın literatürün ilgi düzeyi, başlık, özet, yayına ait anahtar kelimeler ve sonuç bölümlerine göre değerlendirilip, sürdürülebilir cephe malzemelerinden bir ya da birden fazla cephe malzemesinin seçim kriterlerini kapsayan yayınların tespit edilmesi amaçlanmıştır. Bitkilendirilmiş yeşil dikey cepheler kapsam dışı bırakılmıştır. Sistematik literatür taraması sonucu sürdürülebilir cephe malzemesi seçimi ile ilişkisi olan 52 adet bilimsel yayın tespit edilmiş ve

Çalışma kapsamında hazırlanması hedeflenen kontrol listesindeki ölçütlerin belirlenmesi için meta analizi yöntemi ile değerlendirme kapsamına alınmıştır (Tablo 4.1). Daha sonra tespit edilen her bilimsel çalışma, yayın yılına göre güncelden eskiye doğru sıralanarak numaralandırılmıştır (Tablo 4.2).

Tablo 4.1: Verilerin toplanması.



Tablo 4.2: Çalışma kapsamında değerlendirmeye alınan bilimsel çalışmalar.

Sıra	Yazar	Başlık
1	[Reyhani vd., 2022]	<i>Assessing the environmental performance of plastic-based and felt-based green wall systems in a life-cycle perspective</i>
2	[Egiluz vd., 2021]	<i>Multi-criteria decision-making method for sustainable energy-saving retrofit facade solutions</i>
3	[Hatefi vd., 2021]	<i>Model for the sustainable material selection by applying integrated dempster-shafer evidence theory and additive ratio assessment (Aras) method</i>
4	[Ingeli vd., 2021]	<i>Impact of an innovative solution for the interruption of 3-D point thermal bridges in buildings on sustainability</i>
5	[Yaman, 2021]	<i>Different facade types and building integration in energy efficient building design strategies</i>
6	[Li ve Tingley, 2021]	<i>Solid wall insulation of the Victorian house stock in England a whole life carbon perspective</i>
7	[Friedrich, 2021]	<i>How building experts evaluate the sustainability and performance of novel bioplastic-based textile façades an analysis of decision making</i>
8	[Akram vd.,]	<i>Global technological advancement and challenges of glazed window, facade system and vertical greenery-based energy savings in buildings a comprehensive review-çeviri</i>
9	[Ferreira vd., 2021]	<i>Criteria for selection of cladding systems based on their maintainability</i>
10	[Mayhoub vd., 2021]	<i>Assessment of green building baterials' attributes to achieve sustainable building facades using Ahp</i>
11	[Feehan vd., 2021]	<i>Adopting an integrated building energy simulation and life cycle assessment framework for the optimisation of facades and fenestration in building envelopes</i>
12	[Gregório-Atem vd., 2020]	<i>Opaque ventilated facade (Ovf) thermal performance simulation for office buildings in Brazil</i>
13	[Dunel ve Barbosa, 2020]	<i>Evaluation of the thermal performance of a social interest housing (Sih) with ecological brick masonry produced with urban solid waste stabilized in a tropical climate to replace the use of traditional building materials</i>

Tablo 4.2: Devam

Sıra	Yazar	Başlık
14	[Streimikiene vd., 2020]	<i>Uncertain multi-criteria sustainability assessment of green building insulation materials</i>
15	[Kavitha ve Molykutty]	<i>Life cycle energy analysis of a glazed commercial building using building information modelling (Bim) tools</i>
16	[O'Neill vd., 2020]	<i>Integrated operational and life-cycle modelling of energy, carbon and cost for facade buildings</i>
17	[Balali ve Valipour, 2020]	<i>Identification and selection of building facade's smart materials according to sustainable development goals</i>
18	[Muhtadernejad vd., 2020]	<i>Enhanced facade design a data-driven approach for decision analysis based on past experiences</i>
19	[Andric vd., 2020]	<i>Efficiency of green roofs and green walls as climate change mitigation measures in extremely hot and dry climate case study of Qatar</i>
20	[Moghtadernejad vd, 2020]	<i>Design strategies using multi-criteria decision-making tools to enhance the performance of building facades</i>
21	[Türkmen, 2019]	<i>Türkiye'de sürdürülebilir bina sertifikalı ve yerel mevzuata göre inşa edilmiş sanayi kabuk elemanlarının çevresel etki değerlendirmesi</i>
22	[Mayhoub vd., 2019]	<i>Development of green building material's evaluation criteria to achieve optimum building facade energy performance</i>
23	[Mifsud vd., 2019]	<i>Comparative life cycle analysis of façade passive systems in the Mediterranean: comfort, energy, and carbon</i>
24	[Cekon ve Slávik, 2018]	<i>Life cycle assessment of solar facade concepts cased on transparent insulation materials</i>
25	[Gil-Baez vd., 2018]	<i>Passive actions in the building envelope to enhance sustainability schools in a Mediterranean climate</i>
26	[Hammad vd., 2018]	<i>Optimising embodied carbon and u-value in load bearing walls: a mathematical bi-objective mixed integer programming approach</i>
27	[Zigart vd., 2018]	<i>Environmental impact assessment of building envelope components for low-rise buildings</i>

Tablo 4.2: Devam

Sıra	Yazar	Başlık
28	[Sirivithayapakorn ve Talang, 2018]	Comparing environmental burdens, economic costs and thermal resistance of different materials for exterior building walls
29	[Toplu, 2018]	2000 yılı öncesi inşa edilmiş konutların cephelerinin enerji etkin yenilenmesi için model cephe sistemi önerisi
30	[Petrone ve Balocco, 2017]	Numerical modelling for the thermal performance assessment of a semi-opaque facade with a multilayer of nano-structured and phase change materials
31	[Sarpaşar, 2017]	Sürdürülebilir cephe tasarımı eğitiminin iyileştirilmesi için uygulama projesi dersi kapsamında model önerisi, İtü örneği
32	[Moussavi vd., 2017]	Multi-criteria selection of facade systems based on sustainability criteria
33	[Stephan vd., 2017]	Improving the life cycle energy performance of apartment units through facade design
34	[Gilani vd., 2017]	A new sustainability assessment approach based on stakeholder's satisfaction for building facades
35	[Samardzioska ve Apostolska, 2016]	Measurement of heat-flux of new type facade walls
36	[Pekdogan ve Basaran, 2016]	Thermal performance of different exterior wall structures based on wall orientation
37	[Tedesco vd., 2016]	How to measure the green façade sustainability a proposal of a technical standart
38	[Wu vd., 2016]	Thermal evaluation of a double glazing façade system with integrated parallel slat transparent insulation material (Ps-tim)
39	[Theodosiou vd., 2015]	Thermal bridging analysis on cladding systems for building facades
40	[Cui vd., 2015]	Review of phase change materials integrated in building walls for energy saving
41	[Han vd., 2015]	Life cycle assessment of ceramic facade material and its comparative analysis with three other common facade materials
42	[Paiho vd., 2015]	An energetic analysis of a multifunctional facade system for energy efficient retrofitting of residential buildings in cold climates of Finland and Russia
43	[Castro vd., 2014]	Impact of the lifespan of different external walls of buildings on greenhouse gas emissions under tropical climate conditions

Tablo 4.2: Devam

<i>Sıra</i>	<i>Yazar</i>	<i>Başlık</i>
44	[Haggag vd., 2014]	<i>Experimental study on reduced heat gain through green facades in a high heat load climate</i>
45	[Hradil vd., 2013]	<i>Durability considerations of refurbished external walls</i>
46	[Rincón vd., 2013]	<i>Evaluation of the environmental impact of experimental buildings with different constructive systems using material flow analysis and life cycle assessment</i>
47	[Häkkinen, 2012]	<i>Systematic method for the sustainability analysis of refurbishment concepts of exterior walls</i>
48	[Stazi vd., 2012]	<i>Life cycle assessment approach for the optimization of sustainable building envelopes: An application on solar wall systems</i>
49	[Radhi ve Sharples, 2012]	<i>Global warming implications of facade parameters: a life cycle assessment of residential buildings in Bahrain</i>
50	[Azari-N ve Kim, 2011]	<i>Comparative assessment of life cycle impacts of curtain wall mullions</i>
51	[Kim, 2011]	<i>A comparative life cycle assessment of a transparent composite facade system and a glass curtain wall system</i>
52	[Kaya, 2010]	<i>Sürdürülebilir dış duvar sistemi için tasarım seçeneklerinin geliştirilmesi</i>

4.3. Verilerin İşlenmesi

Sürdürülebilir cephe malzemesi seçim kriterlerinin belirlenmesi için kullanılan meta analizi yöntemi; birbirine yakın konuları içeren yeterli sayıda akademik çalışmanın derlenmesi sonucu ortak kategori ve ölçütlerin elde edilmesi ve bu verilerin değerlendirilmesidir. Bu amaç doğrultusunda elde edilen verilerin analizi için Tablo 4.3'teki gibi genel bulgular ve kapsam olmak üzere iki ana başlık altında sınıflandırılmıştır. Sınıflandırma sonrası elde edilen tüm bu bulgular excel tablosuna aktararak veriler toplanmıştır.

Tablo 4.3: Analiz çerçevesi.

Ana Başlıklar	Alt Başlıklar
Genel Bulgular	Yayın Yılı
	Yayın Türü
	Yayınlandığı Ülke
	Araştırma Yöntemleri
Kapsam	Değerlendirmeye alınan sürdürülebilirlik boyutları (Çevresel, Ekonomik ve Sosyal Sürdürülebilirlik)
	Cephe malzemesi seçim kriterlerinin sürdürülebilirlik kategorileri ve ölçütlerinin belirlenmesi
	Sürdürülebilirlik kategorileri ve ölçütlerinin yayınlarda görülme sıklıklarının tespit edilmesi

4.4. Verilerin Analizi

Verilerin analizini sistematik bir şekilde oluşturabilmek için, ilk olarak belirlenen 52 bilimsel çalışma güncelden eskiye doğru numaralandırılarak MS Excel programında tablolştırılmıştır (Tablo 4.2). Daha sonra her bilimsel çalışmanın, yayın yılı, yayın türü, yayınlandığı ülke ve araştırma yöntemleri tespit edilerek tablolştırılmıştır ve grafikleri oluşturulmuştur. Bir sonraki adımda ise bilimsel çalışmalarda, değerlendirmeye alınan sürdürülebilirlik boyutları (çevresel, ekonomik ve sosyal sürdürülebilirlik), malzeme seçim kriterlerinin kategorileri ve ölçütleri tespit edilerek tablolara işlenmiştir. Tablo 3.4'te belirtilen analiz çerçevesinde yer

alan her bir bulgunun çalışmalarda bulunma sıklığı; ölçütün görüldüğü kaynak sayısının incelenen kaynak sayısına oranı hesaplanarak tespit edilmiştir. Bilimsel çalışmalardan elde edilen 36 adet ölçütün sıklık analizleri ile önem dereceleri tespit edilmiş ve cephe malzemesi seçim kriterlerine yönelik bir kontrol listesi oluşturulmuştur.

$$f = \frac{ni}{\sum ni} \quad (4.1)$$

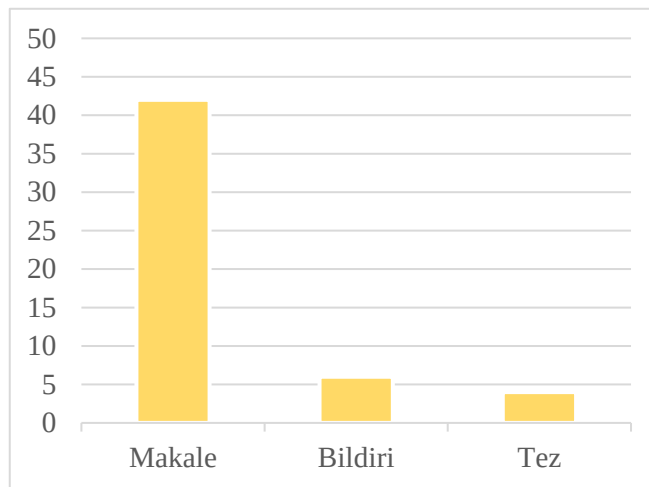
f : sıklık

ni : ölçütün görüldüğü kaynak sayısı

$\sum ni$: incelenen toplam kaynak sayısı [Yenidünya ve Limoncu, 2020].

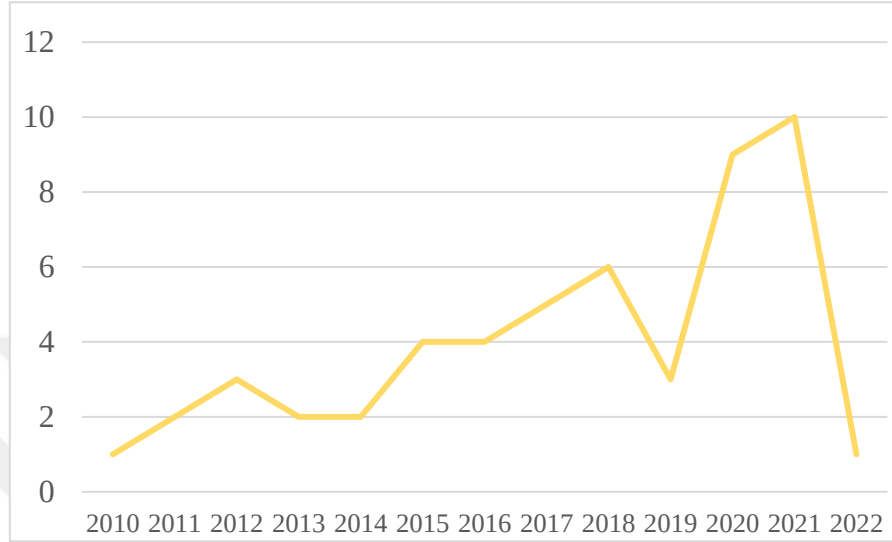
4.4.1. Genel Bulgular Analizi

Sürdürülebilir cephe malzemesi seçim kriterlerini belirlemek için konu ilişkisi tespit edilen 52 adet bilimsel çalışmanın genel bulgular analizi kapsamında; kaynak türlerine göre dağılımı, yıllara göre dağılımı, yayınlandığı ülkelere göre dağılımları ve araştırma yöntemleri tespit edilmiştir. Çalışma kapsamında değerlendirmeye alınan bilimsel yayınların 42 adeti makale, 6 adeti konferans bildirimi ve 4 adeti de tez yayını olduğu tespit edilmiştir. Konuyla ilgili en fazla kaynak türünün makale olması, sürdürülebilir cephe malzemesi seçim kriterlerini inceleyen çalışmalarda bilimsel dergilerin ön plana çıktığını göstermektedir. Şekil 4.1’de yayınların kaynak türlerine göre dağılımı gösterilmiştir.



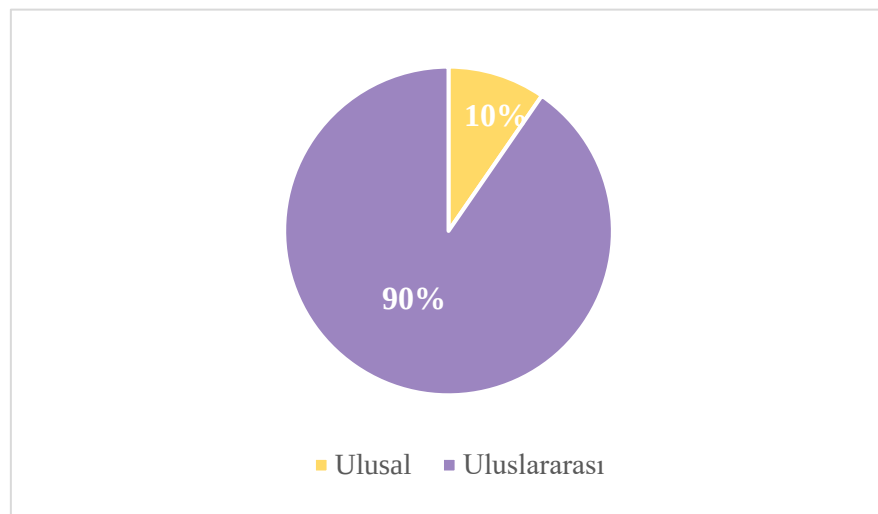
Şekil 4.1: Bilimsel yayınların kaynak türlerine dağılımı.

Çalışma kapsamında değerlendirmeye alınan kaynakların yıllara göre dağılımı Şekil 4.2’de gösterilmiştir. Bu grafiğe göre düzenli olmasa da genel olarak konuyla ilgili çalışma adetlerinde artış tespit edilmiştir. Bu durum çalışma konusunun gelişmeye devam ettiğini ve güncel olduğunu göstermektedir.

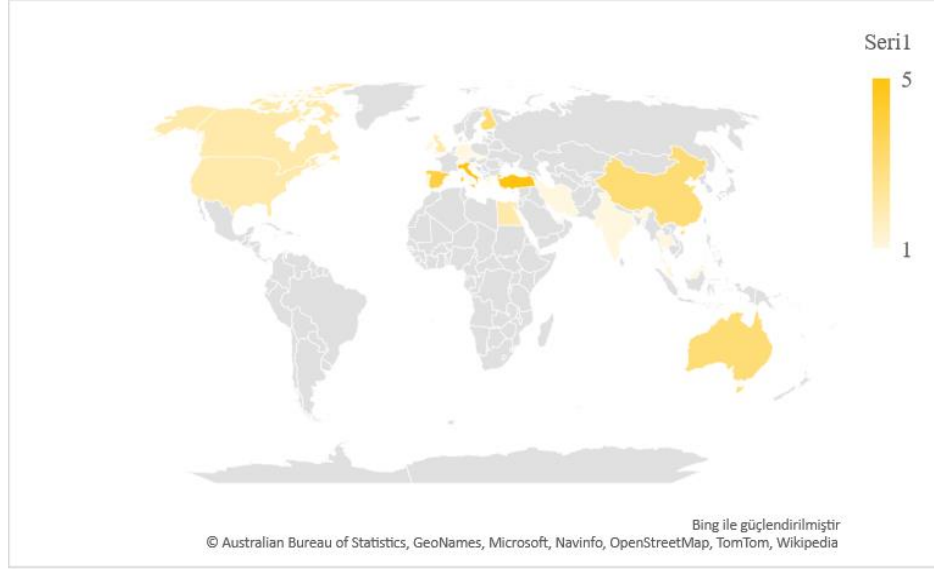


Şekil 4.2: Bilimsel yayınların yıllara göre dağılımı.

Şekil 4.3’te, ele alınan çalışmaların ulusal ve uluslararası yayın olma özellikleri tespit edilmiştir. Grafiğe göre, uluslararası bilimsel çalışmaların oranı %90, ulusal bilimsel çalışmaların oranı %10’tır.

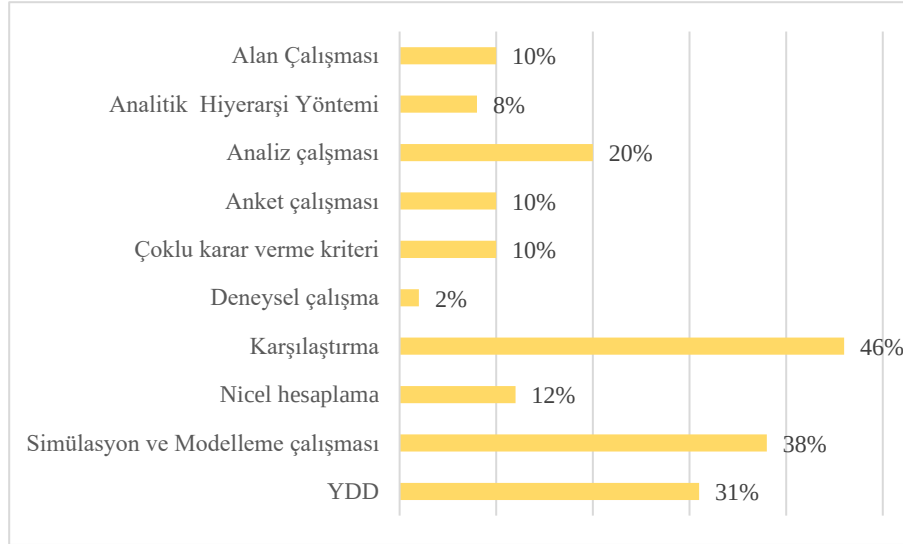


Şekil 4.3: İncelenen çalışmaların ulusal ve uluslararası yayın olma özelliklerine göre dağılımı.



Şekil 4.4: Bilimsel yayınların ülkelere göre dağılımı.

Değerlendirmeye alınan çalışmaların ülkelere göre dağılımı Şekil 4.4'te belirtilmiştir. Buna göre çalışmaların Hükümetler arası İklim Değişikliği Paneli (IPCC) raporunda da belirtildiği üzere sıcaklık ve kuraklığın artacağı bölgeler olan, Akdeniz iklimine sahip İspanya, İtalya ve Türkiye'de daha fazla ele alındığı tespit edilmiştir.



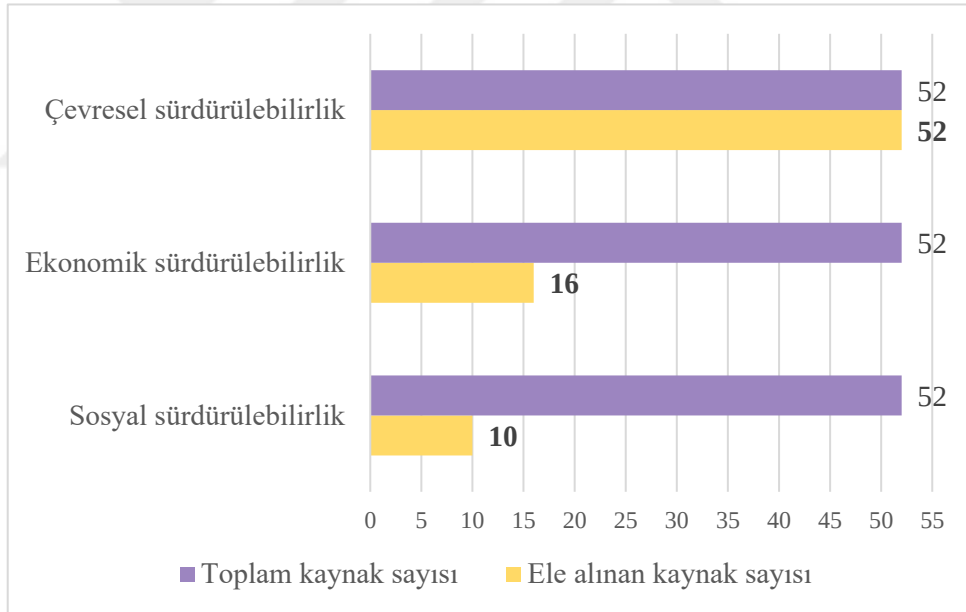
Şekil 4.5: Bilimsel yayınlarda kullanılan araştırma yöntemleri.

Ele alınan çalışmalarda kullanılan araştırma yöntemleri Şekil 4.5'te belirtilmiştir. Buna göre en fazla kullanılan araştırma yöntemi olarak karşılaştırma

(%46) yöntemi kullanılmıştır. Karşılaştırma yönteminin kullanıldığı çalışmalarda malzemelerin sürdürülebilirlik kriterleri karşılaştırmalı olarak değerlendirilerek, daha sürdürülebilir olan malzemenin tespit edilmesi hedeflenmiştir. Karşılaştırma yöntemini sırasıyla; simülasyon ve modelleme çalışması (%38) ve YDD yöntemi (%31) takip etmektedir.

4.4.2. Kapsam Analizi

Sürdürülebilir cephe malzemesi seçim kriterlerini belirlemek için konu ilişkisi tespit edilen 52 adet bilimsel çalışmanın kapsam analizi bağlamında; değerlendirmeye alınan sürdürülebilirlik boyutlarının (çevresel, ekonomik ve sosyal sürdürülebilirlik) belirlenmesi, cephe malzemesi seçim kriterlerinin sürdürülebilirlik kategorileri ve ölçütlerinin belirlenmesi ve sürdürülebilirlik kategorileri ve ölçütlerinin yayınlarda görülme sıklıkları tespit edilmesi değerlendirilmiştir.



Şekil 4.6: Bilimsel yayınlarda yer alan sürdürülebilirlik boyutları.

Değerlendirmeye alınan çalışmaların sürdürülebilirlik boyutları Şekil 4.6'da gösterilmiştir. Buna göre 52 adet çalışmanın tamamında sürdürülebilirliğin çevresel boyutu, 16 adet çalışmada ekonomik boyutu ve 10 adet çalışmada sosyal boyutu

incelenmiştir. Bu çalışma kapsamında sürdürülebilirliğin çevresel boyutu ele alınacaktır.

Literatür taraması sürecinde, her çalışmada çevresel sürdürülebilirlik kategorilerinin ve ölçütlerinin farklı gruplandığı ya da sadece bir kategorinin (Örneğin; enerji verimliliği) değerlendirmeye alındığı tespit edilmiştir. Değerlendirmeye alınan bazı çalışmalarda örnekler aşağıda sıralanmıştır;

Balali ve Valipour'un yaptıkları çalışmada, sürdürülebilir akıllı cephe malzemelerinin belirlenmesi ve seçilmesi üzerine inceleme yapmışlardır. Çalışmada sürdürülebilir cephe malzemesi seçim kriterleri, teknik ve yönetici faktörler, ekonomik faktörler, sosyal faktörler, çevresel faktörler ve enerji tüketim faktörleri olmak üzere beş ana başlık altında belirlenmiştir. Belirlenen alt başlıklara göre Friedman testi ve Analitik Hiyerarşi Analizi ile bina cepheleri için en sürdürülebilir alternatiflerin fotovoltaik malzemeler, termokromik malzemeler ve fotostriktif malzemeler olduğu tespit edilmiştir [Balali ve Valipour, 2020].

Kenway ve diğerleri, bina enerji modellemesini yaşam döngüsü analizi ve yaşam döngüsü maliyeti ile entegre eden yeni bir çerçeve sunarak ofis binası cephelerindeki 4 farklı camlı cephe tipini değerlendirmişlerdir. Çalışmada sürdürülebilir malzeme seçimi enerji, yaşam döngüsü ve yaşam döngüsü maliyetleri olmak üzere üç ana başlıkta incelenmiştir. Değerlendirmeye göre sürdürülebilir cephe tasarımı için en uygun seçeneğin çift camlı low-e cam olduğu tespit edilmiştir [Kenway vd., 2020].

Mayhoub ve diğerleri yaptıkları çalışmada, yüksek performanslı bina cepheleri için uygun yeşil malzemelerinin seçimi için, termal performans, çevresel etki, kaynak açısından verimlilik, enerji verimliliği, su verimliliği olmak üzere beş ana kriter belirlemişlerdir. Belirlenen bu kriterlere göre dört farklı iklim bölgesinde, eğitim ve konut yapılarında kullanılan geleneksel cephe malzemelerinin enerji tüketimi karşılaştırılmıştır [Mayhoub vd., 2019].

Lecturer ve diğerleri yaptıkları çalışmada, cephe sistemlerinin seçimi için çevresel etkiler, yaşam döngüsü maliyetleri, performans ve sosyal faydalar olmak üzere dört ana başlık altında kapsamlı bir sürdürülebilir kriterleri listesi belirlenmiştir. Belirlenen sürdürülebilirlik kriterleri ile Sydney'de bulunan mevcut bir cepheyi değiştirmek için çift tuğla, alüminyum kompozit panel, seramik kaplama, gazbeton panel ve beton bloklar olmak üzere beş farklı alternatif arasından en

sürdürülebilir cephe sistemi belirlenmiştir. Super Decision’da elde edilen sonuçlara göre beton bloklar ve gazbeton paneller, sürdürülebilirlik kriterlerine göre yenilecek cepheler için en uygun seçenekler olarak belirlenmiştir [Lecturer vd., 2017].

Tedesco ve diğerleri yaptıkları çalışmada, İtalya’da yeşil cephelerin sürdürülebilirliğini ölçmek için teknik bir standart önerisi geliştirmeyi amaçlamışlardır. Çalışmaya göre, yeşil cephe malzemelerinin çevresel gereklilikleri üretim, yerinde montaj, kullanım ve bakım ve hayatın sonu olmak üzere dört ana başlıkta belirlenmiştir [Tedesco vd., 2016].

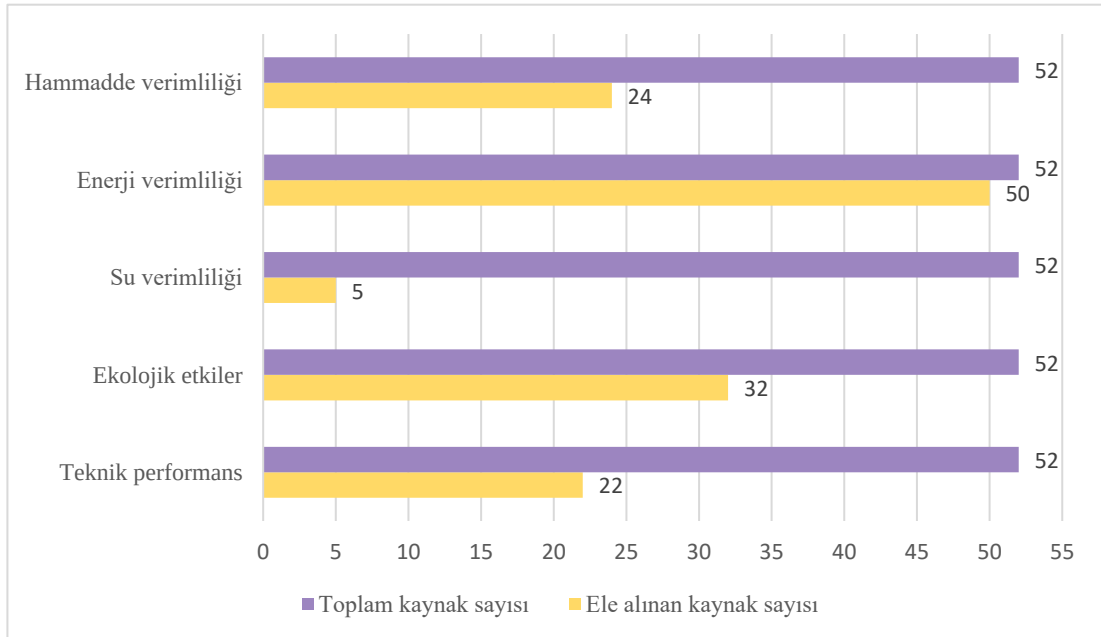
Han ve diğerleri yaptıkları çalışmada, seramik cephe panelleri için beşikten mezara yaşam döngü analizi inceleyerek, üretim sürecinde önemli çevresel etki noktalarını belirlemiştir. Ardından, en iyi çevresel profile sahip cephe malzemesini belirlemek için seramik cephe paneli, cam, mermer ve alüminyum kaplama malzemelerinin beşikten kapıya yaşam döngüsünün çevresel etkilerini karşılaştırmış. Çalışma sonucu seramik cephe panellerinin, diğer belirlenen cephe malzemelerine göre daha iyi çevresel performansa sahip olduğu tespit edilmiştir [Han vd., 2015].

Kaya yaptığı çalışmada, sürdürülebilir dış duvar sistemleri için tasarım seçenekleri geliştirmeyi amaçlamıştır. Bu amaçla Marmara Bölgesi’nde üretilen dış duvar malzemelerinin çevresel performanslarının ortaya koymuştur. Çalışmada, malzemelerin çevresel performansları YDD anketi hazırlanarak, ekolojik/çevresel etkiler, insan sağlığına ve huzuruna etkiler, enerjiye etkiler ve bina işletmesi etkenleri olmak üzere dört ana başlık altında incelenmiştir [Kaya, 2010].

Değerlendirmeye alınan bilimsel yayınların ayrıntılı incelenmesi sonucu, her çalışmada farklı çevresel sürdürülebilirlik kategorisi (enerji verimliliği, hammadde verimliliği vb.) ya da kategorilerine göre gruplandırılıp değerlendirme yapıldığı tespit edilmiştir. Örneğin; Akram ve arkadaşlarının yaptığı çalışmada, sadece cephelerin operasyonel enerjisi değerlendirmeye alınırken [Akram vd., 2021]; Castro’nun çalışmasında YDD boyunca açığa çıkan karbon miktarı incelenmiştir [Castro vd.,2014]. Her yayında ele alınan sürdürülebilir cephe malzemesi faktörlerinin farklılaşması sebebiyle tarama sürecinde her bilimsel yayının, hangi faktör ya da faktörlere göre incelendiği belirlenmiştir. Değerlendirmeye alınan faktörlere göre de seçim kriterleri belirlenmiştir. Örneğin; cephelerin ısıtma ve soğutma yükü faktörlerinin incelendiği bir çalışmada, cephe malzemelerinin ısıtma

ve soğutma yükünü etkileyen, ‘malzemenin u değeri’ ölçütü belirlenerek tablolastırılmıştır.

Cephe malzemelerinin diğer malzemelere göre çevresel etmenler karşısında taşıyıcılık, su yalıtımı, ısı yalıtımı, hava geçirimsizliği vb. performansları ön olana çıktığı için, cephe malzemelerinin teknik performansı da değerlendirmeye alınarak çevresel sürdürülebilirlik kriterlerine bütünsel yaklaşılması hedeflenmiştir. Literatür taraması sonucu cephe malzemelerinin çevresel sürdürülebilirliği; hammadde verimliliği, enerji verimliliği, su verimliliği, ekolojik etki ve teknik performans olmak üzere toplam 5 çevresel kategori başlığı altında değerlendirilmiştir. Bu bağlamda ilk olarak, numaralandırılmış bilimsel yayınlarda konusu geçen çevresel kategorilere (+) işareti verilerek tablolastırılmıştır (Tablo 4.4). Değerlendirme sonucuna göre çalışmaların; 24’ünde (%46) hammadde verimliliği, 50’sinde (%96) enerji verimliliği, 5’inde (%10) su verimliliği, 32’sinde (%61) ekolojik etkiler ve 22’ünde (%42) teknik performans kategorilerine Şekil 4.7’de yer verilmiştir. Değerlendirmeye alınan çalışmalara göre, sürdürülebilir cephe malzemesi seçiminde enerji verimliliği ön planı çıkmaktadır. Bilimsel yayınların %42’sinde teknik performans kriterlerinin de dahil edilmiş olması, bu kriterin cephe malzemesi seçimindeki önemini desteklemektedir.



Şekil 4.7: Bilimsel yayınlarda yer alan çevresel kategori sıklık oranları.

Tablo 4.4: Bilimsel çalışmalarda yer alan çevresel kategori başlıkları.

<i>Kod</i>	Hammadde Verimliliği	Enerji Verimliliği	Su Verimliliği	Ekolojik Etkiler	Teknik Performans
1		+	+	+	
2	+	+		+	+
3	+	+	+	+	+
4		+			
5	+	+			+
6		+		+	
7	+	+		+	+
8		+			
9	+			+	+
10	+	+		+	+
11		+		+	
12		+			
13		+			
14		+		+	+
15		+			
16	+	+		+	
17	+	+		+	+
18	+	+		+	+
19		+			
20	+	+		+	+
21	+	+		+	+
22	+	+	+	+	+
23	+	+		+	+
24	+	+		+	
25		+			
26		+			
27		+		+	
28		+		+	
29		+			
30		+			
31		+		+	
32	+	+		+	+
33		+			
34	+	+	+	+	+
35		+			
36		+			
37	+	+		+	+
38		+			
39		+			
40		+			
41	+	+		+	
42		+			
43	+	+		+	+
44		+			
45					+
46	+	+		+	
47		+		+	+
48	+	+		+	+
49		+		+	
50	+	+		+	
51	+	+		+	+
52	+	+	+	+	+

Sürdürülebilir cephe malzemesi seçim kriterleri, belirlenen 5 çevresel kategori başlığı altında, meta analizi analizi yöntemi ile her bir yayının ayrı ayrı incelenmesi ve derlenmesi sonucu toplam 36 adet alt ölçüt belirlenmiştir. Belirlenen ölçütlerin incelenen bilimsel yayınlarda bulunma sıklık değeri $f = \frac{ni}{\sum ni}$ formülü ile hesaplanmıştır. Literatür taraması sonucu belirlenen her bir ölçüt için sıklık analizi hesaplanarak ait oldukları çevresel kategori başlıkları altında sıklık oranları belirlenmiştir.

Tablo 4.5: Analiz sonu belirlenen ölçütler.

<i>Hammadde Verimliliği</i>	<i>Ekolojik Etkiler</i>
Yerel malzeme	Düşük veya toksik olmayan içerik
Geri dönüştürülebilir yapı malzemeleri	Düşük Karbon emisyonu
Geri dönüştürülmüş içerikli yapı malzemeleri	Düşük VOC
Ambalajsız, az veya ekolojik ambalajlı yapı malzemeleri	Sağlıklı bakım
Servis ömrü uzun olan malzemeleri	Minimum kimyasal emisyonlar
Yenilebilir malzeme	<i>Teknik Performans</i>
Kaynak açısından verimli üretim süreci	Dayanıklılık
Malzemenin iklim bölgesi ile uyumluluğu	Çürümeye karşı direnç
Yapım sırasında ürünün montajı için kendisi dışında az ek malzeme gerektiren malzemeler	Onarılabilirlik
<i>Enerji Verimliliği</i>	Kolay temizlenebilirlik
Termal direnç (R)	Kolay uygulanabilirlik
Yenilebilir enerji	Depreme dayanıklı
Isı geçirgenlik katsayısı (U)	Yangın dayanımı
Görünür ışık geçirgenliği	Malzemenin difüzyon direnç katsayısı
Kaynağa nakliye mesafesi	Rüzgar yüküne dayanımı
Geri dönüşüm tesisine nakliye	Renk direnci
Malzeme fire faktörü	Nem/yağmur suyu vb. karşı dayanım
Hava sızdırmazlık faktörü	Doğal havalandırmaya elverişli malzeme
<i>Su Verimliliği</i>	Malzemenin ağırlığı
Ydd boyunca su tüketimi az olan yapı malzemeleri	

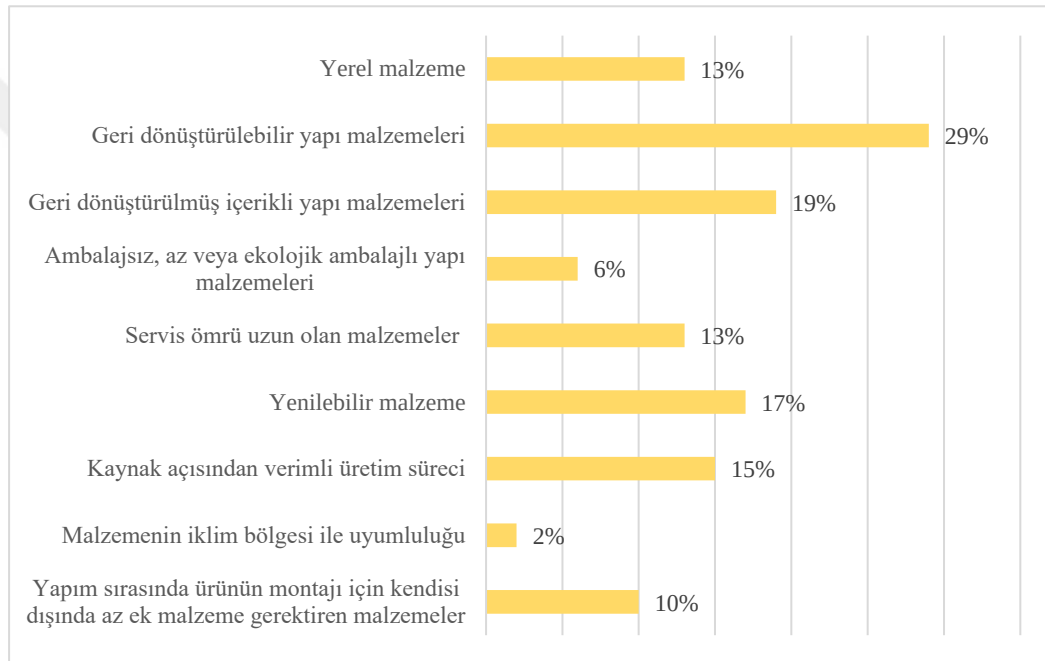
- Hammadde verimliliği

Bilimsel çalışmaların analizi sonucu hammadde verimliliği çevresel kategorisi altında toplam 9 adet ölçüt tespit edilmiştir. Belirlenen ölçütlerin bilimsel çalışmalardaki görülme yerleri Tablo 4.6'da (+) işareti ile gösterilmiştir.

Tablo 4.6: Bilimsel çalışmalarda yer alan hammadde verimliliği kategorisi ölçütleri.

	Hammadde Verimliliği								
	Geri dönüştürülebilir yapı malzemeleri	Geri dönüştürülmüş içerikli yapı malzemeleri	Yenilebilir malzeme	Kaynak açısından verimli üretim süreci	Yerel malzeme	Servis ömrü uzun olan malzemeleri	Yapım sırasında üretimin montajı için kendisi dışında az ek malzeme gerektiren malzemeler	Ambalajsız, az veya ekolojik ambalajlı yapı malzemeleri	Malzemenin iklim bölgesi ile uyumluluğu
1									
2	+	+					+		
3	+	+	+		+		+	+	
4									
5	+								
6									
7		+						+	
8									
9						+			
10	+	+	+		+		+		+
11									
12									
13									
14									
15									
16	+			+	+				
17	+		+						
18						+			
19									
20						+			
21	+	+							
22	+	+			+				
23				+					
24	+	+	+	+	+		+		
25									
26									
27									
28									
29									
30									
31									
32	+		+						
33									
34	+		+		+				
35									
36									
37	+	+	+						
38									
39									
40									
41	+	+	+	+	+	+	+	+	
42									
43						+			
44									
45									
46				+					
47									
48				+					
49									
50				+					
51	+	+		+		+			
52	+		+			+			

Hammadde verimliliği kategorisi altında 52 adet çalışmanın, “yerel malzeme” 7’sinde (%13), “geri dönüştürülebilir yapı malzemeleri” 15’inde (%29), “geri dönüştürülmüş içerikli yapı malzemeleri” 10’unda (%19), “ambalajsız, az veya ekolojik ambalajlı yapı malzemeleri” 3’ünde (%6), “servis ömrü uzun olan malzemeler” 7’sinde (%13), “yenilebilir malzeme” 9’unda (%17), kaynak açısından verimli üretim süreci 8’inde (%15), malzemenin iklim bölgesi ile uyumluluğu 1’inde (%2) ve “yapım sırasında ürünün montajı için kendisi dışında az ek malzeme gerektiren malzemeler” 5’inde (%10) yer aldığı tespit edilmiştir. Şekil 4.8’de hammadde verimliliği kategorisi altındaki ölçütlerin sıklık oranları belirtilmektedir.



Şekil 4.8: Hammadde verimliliği kategorisi altındaki ölçütlerin sıklık oranları.

- Enerji verimliliği

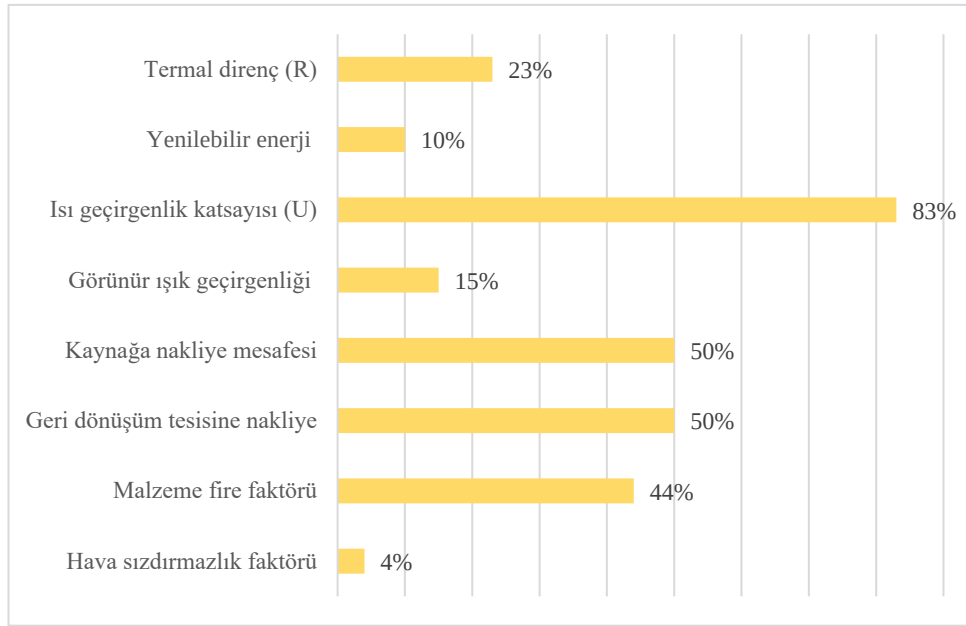
Bilimsel çalışmaların analizi sonucu hammadde verimliliği çevresel kategorisi altında toplam 8 adet ölçüt tespit edilmiştir. Belirlenen ölçütlerin bilimsel çalışmalardaki görülme yerleri Tablo 4.7’de (+) işareti ile gösterilmiştir.

Enerji verimliliği kategorisinde 52 çalışmada, “termal direnç” 12’sinde (%23), “yenilebilir enerji” 5’inde (%10), “ısı geçirgenlik katsayısı” 43’ünde (%83), “görünür ışık geçirgenliği” 8’inde (%15), “kaynağa nakliye mesafesi” 26’sında (%50), “geri dönüşüm tesisine nakliye” 26’sında (%50), “malzeme fire faktörü”

23'ünde (%44), "hava sızdırmazlık faktörü" 2'sinde (%4) yer aldığı tespit edilmiştir. Şekil 4.9'da enerji verimliliği kategorisi altındaki ölçütlerin sıklık oranları belirtilmektedir.

Tablo 4.7: Bilimsel çalışmalarda yer alan enerji verimliliği kategorisi ölçütleri.

	Enerji Verimliliği							
	Isı geçirgenlik katsayısı (U)	Kaynağa nakliye mesafesi	Geri dönüşüm tesisine nakliye	Malzeme fire faktörü	Termal direnç	Görünür ışık geçirgenliği	Yenilebilir enerji	Hava sızdırmazlık faktörü
1		+	+	+				
2	+	+	+	+				
3							+	
4	+							
5	+					+		+
6	+							
7		+	+		+			
8	+							
9								
10	+	+	+	+	+			
11	+					+		
12	+							
13	+				+			
14	+							
15	+	+	+	+		+		
16	+	+	+	+				
17	+	+	+	+	+		+	
18	+	+	+	+	+			
19	+					+		
20	+	+	+	+	+			
21	+	+	+	+			+	
22	+	+	+		+		+	
23	+	+	+	+				
24	+	+	+	+				
25	+							
26	+	+	+	+				
27	+	+	+	+				
28					+			
29	+							
30	+							
31	+	+	+	+				
32	+	+	+	+				
33	+	+	+	+				
34	+	+	+	+		+		
35	+							
36	+							
37					+			
38	+				+	+		
39	+				+			
40	+							
41		+	+					
42	+							+
43	+							
44	+							
45								
46	+	+	+	+				
47	+					+	+	
48	+	+	+	+				
49	+	+	+	+				
50	+	+	+	+				
51	+	+	+	+		+		
52		+	+	+	+			



Şekil 4.9: Enerji verimliliği kategorisi altındaki ölçütlerin sıklık oranları.

- Su verimliliği

Bilimsel çalışmaların analizi sonucu su verimliliği çevresel kategorisi altında toplam 1 adet ölçüt tespit edilmiştir. Belirlenen ölçüt 1, 3, 22, 34 ve 52 numaralı bilimsel çalışmalarda görülmüştür.

Su verimliliği kategorisinde 52 çalışmada, “YDD boyunca su tüketimi az olan yapı malzemeleri” 5’inde (%10) yer aldığı tespit edilmiştir.

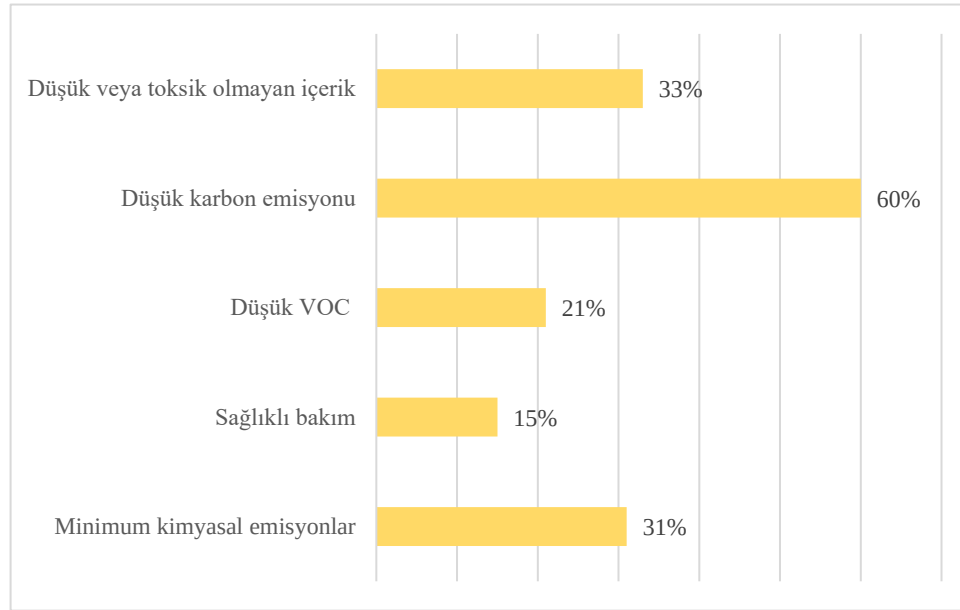
- Ekolojik Etkiler

Bilimsel çalışmaların analizi sonucu hammadde verimliliği çevresel kategorisi altında toplam 5 adet ölçüt tespit edilmiştir. Belirlenen ölçütlerin bilimsel çalışmalardaki görülme yerleri Tablo 4.8’de (+) işareti ile gösterilmiştir.

Ekolojik etkiler kategorisinde 52 çalışmada, “düşük veya toksik olmayan içerik” 17’sinde (%33), “düşük karbon emisyonu” 31’inde (%60), “düşük VOC” 11’inde (%21), “sağlıklı bakım” 8’inde (%15) ve “minimum kimyasal emisyonlar” 16’sında (%31) yer aldığı tespit edilmiştir. Şekil 4.10’da ekolojik etkiler kategorisi altındaki ölçütlerin sıklık oranları belirtilmektedir.

Tablo 4.8: Bilimsel çalışmalarda yer alan ekolojik etkiler kategorisi ölçütleri.

	Ekolojik Etkiler				
	Düşük Karbon emisyonu	Düşük veya toksik olmayan içerik	Minimum kimyasal emisyonlar	Düşük VOC	Sağlıklı bakım
1	+		+		
2	+				
3	+		+		
4					
5					
6	+				
7	+				
8					
9					+
10	+	+	+	+	+
11	+	+	+		
12					
13					
14	+				
15					
16	+				
17	+	+	+		
18	+	+	+	+	
19					
20	+	+	+	+	
21	+	+	+	+	+
22	+	+		+	+
23	+				
24	+	+	+	+	
25					
26					
27	+	+	+		
28	+	+	+	+	
29					
30					
31	+				
32	+				
33					
34	+				
35					
36					
37	+	+			+
38					
39					
40					
41	+	+	+	+	
42					
43	+				
44					
45					
46	+	+	+	+	
47	+	+		+	+
48	+				+
49	+	+	+		
50	+	+	+		
51	+				
52	+	+	+	+	+



Şekil 4.10: Ekolojik etkiler kategorisi altındaki ölçütlerin sıklık oranları.

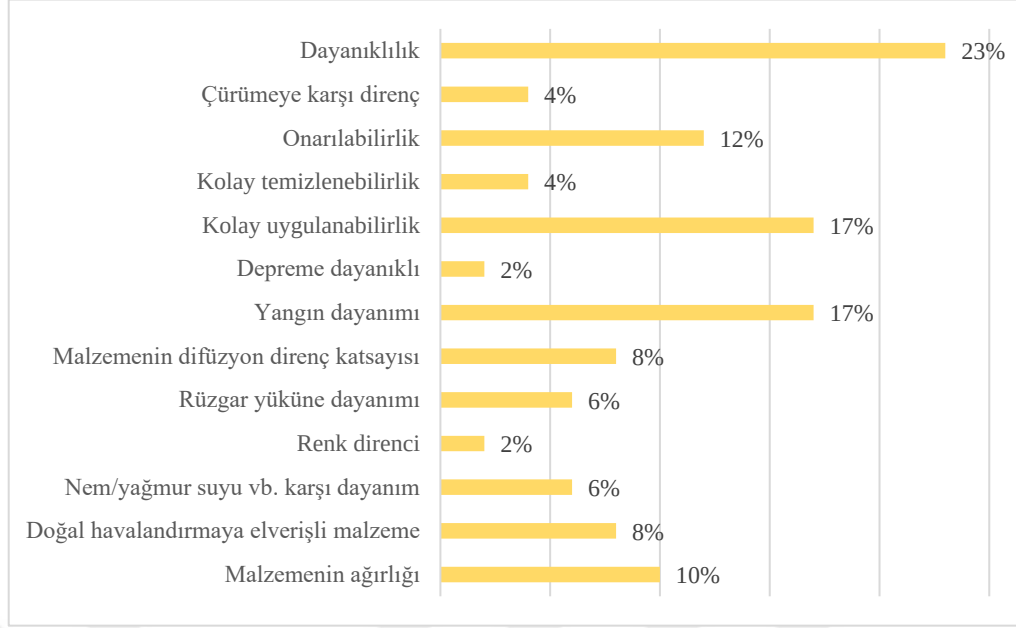
- Teknik Performans

Bilimsel çalışmaların analizi sonucu teknik performans kategorisi altında toplam 13 adet ölçüt tespit edilmiştir. Belirlenen ölçütlerin bilimsel çalışmalardaki görülme yerleri Tablo 4.9’da (+) işareti ile gösterilmiştir.

Teknik performans kategorisinde 52 çalışmada, “dayanıklılık” 12’sinde (%23), “çürümeye karşı direnç” 2’sinde (%4), “onarılabilirlik” 6’sında (%12), “kolay temizlenebilirlik” 2’sinde (%4), “kolay uygulanabilirlik” 9’unda (%17), “depreme dayanıklı” 1’inde (%2), “yangın dayanımı” 9’unda (%17), “malzemenin difüzyon direnç katsayısı” 4’ünde (%8), “rüzgar yüküne dayanımı” 3’ünde (%6), “renk direnci” 1’inde (%2), nem/yağmur suyu vb. karşı dayanım 3’ünde (%6), doğal havalandırmaya elverişli malzeme 4’ünde (%8) ve malzemenin ağırlığı 5’inde (%10) yer aldığı tespit edilmiştir. Şekil 4.11’de teknik performans kategorisi altındaki ölçütlerin sıklık oranları belirtilmektedir.

Tablo 4.9: Bilimsel çalışmalarda yer alan teknik performans kategorisi ölçütleri.

	Teknik Performans												
	Dayanıklılık	Kolay uygulanabilirlik	Yangın dayanımı	Onarılabilirlik	Malzemenin ağırlığı	Doğal havalandırmaya elverişli malzeme	Malzemenin difüzyon direnç katsayısı	Rüzgar yüküne dayanımı	Nem/yağmur suyu vb. karşı dayanım	Çürümeye karşı direnç	Kolay temizlenebilirlik	Depreme dayanıklı	Renk direnci
1													
2			+										
3	+		+		+		+			+			
4													
5						+		+	+				
6													
7		+	+			+		+					+
8													
9	+			+									
10	+		+						+				
11		+											
12													
13													
14			+				+						
15													
16													
17		+	+	+								+	
18	+	+	+		+		+						
19													
20	+	+	+		+		+						
21				+									
22	+												
23	+	+				+							
24													
25													
26													
27													
28													
29													
30													
31													
32										+			
33						+							
34													
35													
36													
37		+			+								
38													
39													
40													
41													
42													
43	+			+							+		
44													
45	+							+	+				
46													
47	+	+	+	+									
48		+		+	+								
49													
50													
51	+												
52	+										+		



Şekil 4.11: Teknik performans kategorisi altındaki ölçütlerin sıklık oranları.

4.5. Kontrol Listesi

Kontrol listesi, tasarım sürecinde kullanılabilecek tasarım destek araçlarından biridir. Kontrol listeleri ile tasarım sürecinde oluşan bir soruna yönelik belirlenen parametrelerden oluşan listelerden oluşmaktadır. Oluşturulan bu listeler ile; tasarım sürecinde sistematik bir yaklaşımla çözüme ulaşılabilmesi ve tüm parametrelerin gözden kaçması ihtimalinin engellenmesi amaçlanmaktadır. Bu şekilde süreçteki hata oranının da düşmesi sağlanmaktadır.

Bu çalışmada, sürdürülebilir cephe malzemesi seçim kriterlerine yönelik bir kontrol listesi hazırlanması hedeflenmiştir. Bu amaçla daha önceden belirlenen veritabanlarından, konu ile ilgisi tespit edilen 52 adet bilimsel çalışmadan meta analizi yöntemi ile 36 adet ölçüt belirlenmiş ve her bir ölçütün sıklık analizleri hesaplanmıştır.

Sürdürülebilir cephe malzemesi seçim kriterleri için çevresel kategoriler ve ölçütlerin belirlenmesi ve sıklık analizlerinin hesaplanması aşaması tamamlandıktan sonraki aşama, kontrol listesi için sıklık analizlerine göre ölçütlerin önem derecelerinin hesaplanmasıdır. Bu hesaplama için “Çok yüksek önem derecesine sahip ölçütler”, “Yüksek önem derecesine sahip ölçütler”, “Orta önem derecesine sahip ölçütler” ve “Düşük önem derecesine sahip ölçütler” olmak üzere dört farklı

önem derecesi belirlenmiştir. Önem derecelerinin alt ve üst sınırları, sıklık oranlarına göre Tablo 4.10’da gösterilmiştir.

Tablo 4.10 Ölçütlerin önem dereceleri.

Önem Dereceleri		Sıklık Oranı
*	Düşük önem derecesine sahip ölçütler	%1-%9
**	Orta önem derecesine sahip ölçütler	%10-%19
***	Yüksek önem derecesine sahip ölçütler	%20-%59
****	Çok yüksek önem derecesine sahip ölçütler	%60-%100

Çalışma sonucunda elde edilen 5 farklı çevresel alt kategori başlıkları altındaki 36 adet ölçütün sıklık analizlerine göre önem dereceleri belirlendikten sonra, her kategori başlığı altında önem derecesi en yüksekten en düşüğe doğru sıralanarak bir kontrol listesi oluşturulmuştur (Tablo 4.11). Oluşturulan “kontrol listesi” ile;

- Sürdürülebilir cephe malzeme seçiminden sorumlu yapım paydaşları için bir rehber olması hedeflenmektedir.
- Tasarım sürecinde, sürdürülebilir cephe malzemesi seçimi süreci aşamasında tasarım destek aracı olarak kullanılabilir.
- Belirlenen tüm parametreler ile tasarım sürecinin eksiksiz tamamlanması amaçlanmaktadır.
- Ölçütlerin sıklık analizlerine göre belirlenen önem dereceleri ile her kriterin farklı ağırlıklarının da olabileceği gösterilmiştir.

Tablo 4.11: Sürdürülebilir cephe malzemesi seçim kriterlerine yönelik hazırlanan kontrol listesi.

KONTROL LİSTESİ			
	Kod	Ölçütler	Ölçütlerin Önem derecesi
Hammadde Verimliliği	HV1	Geri dönüştürülebilir yapı malzemeleri	**
	HV2	Geri dönüştürülmüş içerikli yapı malzemeleri	**
	HV3	Yenilebilir malzeme	**
	HV4	Kaynak açısından verimli üretim süreci	**
	HV5	Yerel malzeme	**
	HV6	Servis ömrü uzun olan malzemeler	**
	HV7	Yapım sırasında ürünün montajı için kendisi dışında az ek malzeme gerektiren malzemeler	**
	HV8	Ambalajsız, az veya ekolojik ambalajlı yapı malzemeleri	*
	HV9	Malzemenin iklim bölgesi ile uyumluluğu	*
Enerji Verimliliği	EV1	Isı geçirgenlik katsayısı (U)	****
	EV2	Kaynağa nakliye mesafesi	***
	EV3	Geri dönüşüm tesisine nakliye	***
	EV4	Malzeme fire faktörü	***
	EV5	Termal direnç (R)	***
	EV6	Görünür ışık geçirgenliği	**
	EV7	Yenilebilir enerji	**
	EV8	Hava sızdırmazlık faktörü	*
Su V.	SV1	Ydd boyunca su tüketimi az olan yapı malzemeleri	**
Ekolojik Etkiler	EKO1	Düşük Karbon emisyonu	****
	EKO2	Düşük veya toksik olmayan içerik	***
	EKO3	Minimum kimyasal emisyonlar	***
	EKO4	Düşük VOC	**
	EKO5	Sağlıklı bakım	**
Teknik Performans	TP1	Dayanıklılık	**
	TP2	Kolay uygulanabilirlik	**
	TP3	Yangın dayanımı	**
	TP4	Onarılabilirlik	**
	TP5	Malzemenin ağırlığı	**
	TP6	Doğal havalandırmaya elverişli malzeme	*
	TP7	Malzemenin difüzyon direnç katsayısı	*
	TP8	Rüzgar yüküne dayanımı	*
	TP9	Nem/yağmur suyu vb. karşı dayanım	*
	TP10	Çürümeye karşı direnç	*
	TP11	Kolay temizlenebilirlik	*
	TP12	Depreme dayanıklı	*
	TP13	Renk direnci	*
Ölçütlerin Önem Dereceleri * Düşük önem derecesine sahip ölçütler ** Orta önem derecesine sahip ölçütler *** Yüksek önem derecesine sahip ölçütler **** Çok yüksek önem derecesine sahip ölçütler			

5. SONUÇ VE ÖNERİLER

Tasarım sürecinde sürdürülebilir yapı malzeme seçimi, yapıda kullanım yeri, fiziksel, kimyasal özellikleri, çevresel etkileri ve enerji performansı vb. birçok parametrelere bağlı değişkenlik gösteren bir süreci kapsayan zor bir karar problemidir. Binalarda sürdürülebilir malzemesi seçim parametrelerini önemli ölçüde etkileyecek yapı bileşenlerinden biri bina cepheleridir, bu sebeple sürdürülebilir cephe malzemesi seçimi, yeşil binalar elde etmek için önemli bir başlık olarak ön plana çıkmaktadır. Ancak ülkemizde sürdürülebilir cephe tasarımları ile ilgili bilimsel çalışmalara ulaşılabılırken, sürdürülebilir cephe malzemesi seçimi ile ilgili yeterli bilimsel çalışmaya ulaşılamamış ve bu durum sürdürülebilir cephe malzemesi ihmal edilebilen bir başlık haline gelmesine sebep olmuştur. Bu sebeple, çalışmada sürdürülebilir cephe malzeme kriterlerini içeren bir kontrol listesinin hazırlanması hedeflenmiştir.

Çalışmada yapılan ön araştırmada, sürdürülebilirliğin boyutları, çevresel sürdürülebilirlik kapsamında yeşil bina araçlarının malzeme kategorisi ve Çevresel Ürün Bildirgesi (EPD) analizi yapılarak, tümden gelim yaklaşımı ile bir araştırma yapılmıştır. Daha sonra sürdürülebilir cephe malzemesi seçim kriterlerinden oluşan bir kontrol listesi oluşturabilmek için, belirlenen veri tabanlarından literatür taraması ve meta analizi yöntemi ile yayınlara ilişkin genel bulgular ve kapsam analizi ile ilgili veriler analiz edilmiştir. Çalışma kapsamında 52 adet bilimsel, 5 çevresel kategori başlığı altında derlenerek bir kontrol listesi oluşturulmuştur. Oluşturulan kontrol listesindeki her bir ölçütün sıklık analizi oranları hesaplanarak önem dereceleri belirlenmiş ve bulunduğu çevresel kategori başlığı altında grafik tabloları hazırlanmıştır.

Sürdürülebilir cephe malzemesi seçim kriterlerini belirlemeye yönelik yayınlara ilişkin genel bulgular şunlardır;

- Çalışma kapsamında değerlendirmeye alınan bilimsel yayınların 42 adeti makale, 6 adeti konferans bildirisi ve 4 adeti de tez yayını olduğu tespit edilmiştir. Bu da sürdürülebilir cephe malzemelerinin çevresel etkilerini ele alan çalışmaların yayınlanmasında bilimsel dergilerde yayınlanan makalelerin etkin olduğunu göstermektedir.

- Sürdürülebilir cephe malzemelerine yönelik çalışmaların en fazla olduğu yıl 2021’dir. Ayrıca bu konuda yapılan çalışmalar yıllara göre düzenli olmasa da artış göstermektedir. Bu durum da çalışma konusunun gelişmeye devam ettiğini göstermektedir.
- İncelen uluslararası bilimsel çalışmaların oranı %90, ulusal bilimsel çalışmaların oranı %10’dur.
- Çalışmalar, sıcaklık ve kuraklığın artacağı bölgeler olan Akdeniz iklimine sahip İspanya, İtalya ve Türkiye’de en fazla ele yayınlanmıştır.
- İncelenen yayınlarda, yöntem olarak karşılaştırma yönteminin en fazla kullanıldığı tespit edilmiştir. Bu yöntem kullanılarak, yayınlarda seçilen malzemelerin çevresel etki değerleri kıyaslanarak daha sürdürülebilir cephe malzemesinin tespit edilmesi hedeflenmiştir.

Sürdürülebilir cephe malzemesi seçim kriterlerini belirlemeye yönelik yayınlara ilişkin kapsam analizinin bulguları aşağıda verilmektedir;

- İncelenen çalışmaların tamamında sürdürülebilirliğin çevresel boyutu, 16 adet çalışmada ekonomik boyutu ve 10 adet çalışmada sosyal boyutu incelenmiştir.
- Çalışmalardan elde edilen verilere göre, sürdürülebilir cephe malzemesi seçim kriterleri altında 5 çevresel kategori başlığı altında toplam 36 ölçüt tespit edilmiştir ve her bir ölçütün hangi bilimsel çalışma veya çalışmalardan elde edildiği tablolastırılmıştır.
- Belirlenen her bir ölçütün sıklık analizi hesaplanmış ve elde edilen sonuçlara göre ölçütler “Çok yüksek önem derecesine sahip ölçütler”, “Yüksek önem derecesine sahip ölçütler”, “Orta önem derecesine sahip ölçütler” ve “Düşük önem derecesine sahip ölçütler” olarak 4 seviyede gruplandırılarak önem dereceleri belirlenmiştir.
- Yayınların 25’inde (%58) hammadde verimliliği, 49’unda (%94) enerji verimliliği, 5’inde (%10) su verimliliği, 31’inde (%60) ekolojik etkiler ve 22’ünde (%42) teknik performans kategorilerine yer verilmiştir.
- Hammadde verimliliği kategorisi altında, “yerel malzeme” 7’sinde (%13), “geri dönüştürülebilir yapı malzemeleri” 15’inde (%29), Ambalajsız, “az veya ekolojik ambalajlı yapı malzemeleri” 3’ünde (%6), “servis ömrü uzun olan malzemeler”

7'sinde (%13), "yenilebilir malzeme" 9'unda (%17), kaynak açısından verimli üretim süreci 8'inde (%15), malzemenin iklim bölgesi ile uyumluluğu 1'inde (%2) ve "yapım sırasında ürünün montajı için kendisi dışında az ek malzeme gerektiren malzemeler" 5'inde (%10) yer aldığı tespit edilmiştir.

- Enerji verimliliği kategorisi altında, "termal direnç" 12'sinde (%23), "yenilebilir enerji" 5'inde (%10), "ısı geçirgenlik katsayısı" 43'inde (%83), "görünür ışık geçirgenliği" 8'inde (%15), "kaynağa nakliye mesafesi" 26'sında (%50), "geri dönüşüm tesisine nakliye" 26'sında (%50), "malzeme fire faktörü" 23'ünde (%44), "hava sızdırmazlık faktörü" 2'sinde (%4) yer aldığı tespit edilmiştir.

- Su verimliliği kategorisinde, "YDD boyunca su tüketimi az olan yapı malzemeleri" 5'inde (%10) yer aldığı tespit edilmiştir.

- Ekolojik etkiler kategorisinde, "düşük veya toksik olmayan içerik" 17'sinde (%33), "düşük karbon emisyonu" 31'inde (%60), "düşük VOC" 11'inde (%21), "sağlıklı bakım" 8'inde (%15) ve "minimum kimyasal emisyonlar" 16'sında (%31) yer aldığı tespit edilmiştir.

- Teknik performans kategorisinde, "dayanıklılık" 12'sinde (%23), "çürümeye karşı direnç" 2'sinde (%4), "onarılabilirlik" 6'sında (%12), "kolay temizlenebilirlik" 2'sinde (%4), "kolay uygulanabilirlik" 9'unda (%17), depreme dayanıklı 1'inde (%2), yangın dayanımı 9'unda (%17), malzemenin difüzyon direnç katsayısı 4'ünde (%8), "rüzgar yüküne dayanımı" 3'ünde (%6), "renk direnci" 1'inde (%2), nem/yağmur suyu vb. karşı dayanım 3'ünde (%6), doğal havalandırmaya elverişli malzeme 4'ünde (%8) ve malzemenin ağırlığı 5'inde (%10) yer aldığı tespit edilmiştir.

- Genel tablo verilerine göre, ısı geçirgenlik katsayısı (u) ölçütü, %79 görülme sıklığı oranı ile sürdürülebilir cephe malzemesi seçim kriterlerinde ön plana çıkmaktadır. Bu ölçütü %50 sıklık oranıyla düşük karbon emisyonu ölçütü takip etmektedir. Tablo verilerine, %2 sıklık oranı ile malzemenin iklim bölgesi ile uyumluluğu ve depreme dayanıklılık ölçütleri, sürdürülebilir cephe malzemesi seçim kriterleri kapsamında en düşük sıklık oranlarına sahip olduğu tespit edilmiştir.

Bu çalışma ile malzeme seçiminden sorumlu yapı paydaşları için sürdürülebilirlik malzeme seçimi sırasında dikkat etmeleri gereken tüm ölçütler,

sistematik bir şekilde derlenerek bir kontrol listesi hazırlanması hedeflenmiştir. Hazırlanan kontrol listesi, cephe malzemesi seçim sürecinin farklı alt süreçlerinde göz önünde tutulması gereken ölçütleri “hatırlatma” işlevini üstlenecek nitelikte olup, malzeme seçimi sürecinde gerçekleştirilen eylemleri denetleme olanağı tanımaktadır. Tez kapsamında yapılan araştırmanın yalnızca akademik ortama değil, sürdürülebilir cephe malzemeleri seçimi ile ilgili yapı ve inşaat sektörüne de katkı sağlaması ve rehber olması hedeflenmektedir.

Çevresel sürdürülebilirlik kapsamında hazırlanan kontrol listesi, daha kapsamlı bir araştırma çalışması ile sürdürülebilirliğin ekonomik ve sosyal boyutları da ele alınarak geliştirilebilir niteliğe sahiptir.



KAYNAKLAR

Abramson J. H., (1994), "Making Sense of Data. 2nd Edition", Oxford University Press, New York, ISBN: 978-1-118-40741-7.

Akram W. M., Hasannuzaman M., Cuce E., Cuce M. P., (2021), "Global technological advancement and challenges of glazed window, facade system and vertical greenery-based energy savings in buildings a comprehensive review", KeAi Energy and Built Environment.

Aksamija A., (2013), "Sustainable Facades, Design Methods for High Performance Building Envelope", New Jersey, USA.

Alptekin O., (2014), "Yapı Malzemesi Seçiminde Yöntem Araştırması ve Bir Model Önerisi", Doktora Tezi, Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Ankara.

Andric I., Kamal A., Al-Ghamdi S. G., (2020), "Efficiency of green roofs and green walls as climate change mitigation measures in extremely hot and dry climate case study of Qatar", Energy Reports, 6, 2476-2489.

Atem C. G., Fernández C. A., Coch H., Vivancos J. L., (2020), "Opaque ventilated facade (Ovf) thermal performance simulation for office buildings in Brazil", Sustainability, 12(18), 7635.

Azari-N R., Kim Y., (2011), "Comparative assessment of life cycle impacts of curtain wall mullions", Building and Environment, 48,135-145.

Balali A., Valipour A., (2020), "Identification and selection of building facade's smart materials according to sustainable development goals", Sustainable Materials and Technologies, 26, e00213.

Balocco C., Petrone G., (2017), "Numerical modelling for the thermal performance assessment of a semi-opaque facade with a multilayer of nano-structured and phase change materials", Buildings, 7(4), 90.

Behzadian M., Otaghsara S.K., Yazdani M., Ignatus J., (2012), "A state-of the-art survey of TOPSIS applications", Expert Systems with Applications, 39(17), 13051-13069.

BREEAM, 2016, "International New Construction 2016", Techinal Manual, SD233 2.0.

Broun R., Babaizadeh H., Zakersalehi A., Menzies G. F., (2014), "Impact of the lifespan of different external walls of buildings on greenhouse gas emissions under tropical climate conditions", Energy and Buildings, 6(12), 8592-8603.

Casals X., (2006), "Analysis of building energy regulation and certification in Europe: Their role, limitations and differences", Energy and Buildings, 38, 381-392.

Cui Y., Xie J., Liu J., Pan S., (2015), "Review of phase change materials integrated in building walls for energy saving. 9th International Symposium on Heating", Ventilation and Air Conditioning (ISHVAC) and the 3rd International Conference on Building Energy and Environment (COBEE), 121, 763-770.

Dunel M. P., Barbosa C. F. T., (2020), "Evaluation of the thermal performance of a social interest housing (Sih) with ecological brick masonry produced with urban solid waste stabilized in a tropical climate to replace the use of traditional building materials", IOP Conference Series: Earth and Environmental Science, 410(1), doi:10.1088/1755-1315/410/1/012110.

Edwards S., ve Bennett P., (2003), "Construction products and life-cycle thinking", UNEP Industry and Environment, Vol.26(2-3), s.57-61.

Egiluz Z., Cuasrado J., Kortazar A., Marcos I., (2021)., "Multi-criteria decision-making method for sustainable energy-saving retrofit facade solutions", Sustainability, 13(23), 13168.

Feehan, A., Nagpal, H., Marvuglia, A., Gallagher, J. (2021). Adopting an integrated building energy simulation and life cycle assessment framework for the optimisation of facades and fenestration in building envelopes. Journal of Building Engineering, 43, 103138.

Ferreira C., Dias I. S., Silva A., Brito de J., Flores-colen I., (2021)., "Criteria for selection of cladding systems based on their maintainability", Journal of Building Engineering, 39, 102260.

Friedrich D., (2021), "How building experts evaluate the sustainability and performance of novel bioplastic-based textile façades an analysis of decision making" Building and Environment, 207, 108485.

Gedik Y., (2020), "Sosyal, Ekonomik ve Çevresel Boyutlarla Sürdürülebilirlik Vesürdürülebilir Kalkınma", International Journal of Economics, Politics, Humanities & Social Sciences, 3(3).

Gilani G., Blanco A., Fuente A., (2017)., "A new sustainability assessment approach based on stakeholder's satisfaction for building facades", International Conference, 115, 50-58.

Gil-Baez M., Padurra A. B., Huelva M. M., (2018), "Passive actions in the building envelope to enhance sustainability schools in a Mediterranean climate", Energy, 167, 144-158.

Haggag M., Hassan A., Elmasry S. K., (2014), "Experimental study on reduced heat gain through green facades in a high heat load climate", Energy and Buildings, 82, 668-674.

Häkkinen T., (2012), "Systematic method for the sustainability analysis of refurbishment concepts of exterior walls", Construction and Building Materials, 37, 783-790.

Hammad A.W., Akbarnezhad A., Oldfield, P., (2018), "Optimising embodied carbon and u-value in load bearing walls: a mathematical bi-objective mixed integer programming approach", *Energy and Buildings*, 174, 657-671.

Han B., Wang R., Liang Y., Liu Hongxiao L., Wang Z., (2015), "Life cycle assessment of ceramic facade material and its comparative analysis with three other common facade materials", *Journal of Cleaner Production*, 99, 86-93.

Hatefi, S.M., Asadi, H., Shams, G.S., Tamošaitienė, J., Turskis, Z., (2021), "Model for the sustainable material selection by applying integrated dempster-shafer evidence theory and additive ratio assessment (Aras) method", *Sustainability*, 13(18), 10438.

Hegger M., Fuchs M., Stark T., Zeurner M., (2008), "Energy Manual Sustainable Architecture", Birkhauser, Basel, İsviçre.

Hoff M.D., Polack R.J., (1993), "Social dimensions of the environmental crisis: Challenges for social work", *Social Work*, 38(2), 204–211.

Hradil P., Toratti T., Vesikari E., Ferreira M., Häkkinen T., (2013). Durability considerations of refurbished external walls. *Construction and Building Materials*, 53, 162-172.

Ingeli R., Gašparík J., Paulovičová L., (2021), "Impact of an Innovative solution for the interruption of 3-d point thermal bridges in buildings on sustainability", *Sustainability*, 13(21), 11561.

Kates R.W., (2010), "Readings in Sustainability Science and Technology", CID Working Series 2010.213, Harvard University, Cambridge.

Kavitha B., Molykutty M. V., (2020), "Life cycle energy analysis of a glazed commercial building using building information modelling (Bim) tools", *Materials Today: Proceedings*, 37(2), 940-946.

Kaya U., (2010), "Sürdürülebilir dış duvar sistemi için tasarım seçeneklerinin geliştirilmesi", Yüksek Lisans Tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Mimarlık Anabilim Dalı, İstanbul, Türkiye.

Kim, K. (2011). A comparative life cycle assessment of a transparent composite facade system and a glass curtain wall system. *Energy and Buildings*, 43(12), 3436-3445.

Kim J. and Ringdon B., (1998). "Sustainable architecture module: Introduction to sustainable design", National Pollution Prevention Center for Higher Education.

Kohler N., Moffatt, S., (2003), "Life cycle analysis of the built environment, Industry and Environment", 26 (2/3), 17-20.

Lawson B., (1996), "Towards ecologically sustainable development", *Building Materials, Energy and Environment*, Canberra.

LEED v4.1 Building Design and Construction, November 2020.

Li X., Tingley D. D., (2021), "Solid wall insulation of the Victorian house stock in England a whole life carbon perspective", *Building and Environment*, 191, 107595.

Manioglu G., Yılmaz Z., (2006), "Economic evaluation of the building envelope and operation period of heating system in terms of thermal comfort", *Energy Build*, 38 (3).

Martabid J. E., Mourgues C., (2015), "Criteria Used for Selecting Envelope Wall Systems in Chilean Residential Projects", *Journal of Construction Engineering and Management*, 141(12).

Mayhoub M., El Sayad Z., Ali A. A. M., (2019), "Development of green building material's evaluation criteria to achieve optimum building facade energy performance", 2019 International Conference on Sustainable Energy Engineering and Application (ICSEEA), doi: 10.1109/ICSEEA47812.2019.8938620.

Mayhoub M. M. G., El Sayad Z. M. T., Ali A. A. M., İbrahim M. G., (2021), "Assessment of green building materials' attributes to achieve sustainable building facades using Ahp", *Buildings*, 11(10), 474.

Mifsud L., Pomponi F., Moncaster A. M., (2019), "Comparative life cycle analysis of facade passive systems in the Mediterranean: comfort, energy, and carbon", *Renewable Energy*, 149, 347-360.

Moghtadernejad S., (2020), "Enhanced facade design a data-driven approach for decision analysis based on past experiences", *Developments in the Built Environment*, 5, 100038.

Moghtadernejad S., Chouinard L. E., Mirza M. S., (2020), "Design strategies using multi-criteria decision-making tools to enhance the performance of building facades", *Journal of Building Engineering*, 30, 101274.

Nadoushani, Z.S.M., Akbarnezhad, A., Jornet, J.F., Xiao, J., (2017). Multi-criteria selection of facade systems based on sustainability criteria. *Building and Environment*, 121, 67-78.

O'Neill R., Window A., Kenway S., Dargush P., (2020), "Integrated operational and life-cycle modelling of energy, carbon and cost for facade buildings", *Journal of Cleaner Production*, 286, 125370.

Ortiz O., Castells F., ve Sonnemann G., (2009), "Sustainability in the construction industry: A review of recent developments based on LCA", *Construction and Building Materials*, 23 (1), 28-39.

Özdemir E., (2012), "Mevzuat ve Yeşil Bina Sertifikaları Bağlamında Yapı Malzemelerinin Seçimi ve Türkiye İçin Gereklikler", Yüksek Lisans Tezi, Mimarlık Ana Bilim Dalı, İstanbul Teknik Üniversitesi, İstanbul.

Paiho S., Seppä I. P., Jimenez C., (2015), "An energetic analysis of a multifunctional facade system for energy efficient retrofitting of residential buildings in cold climates of Finland and Russia", *Sustainable Cities and Society*, 15, 75-85.

Pekdogan T., Basaran T., (2016), "Thermal performance of different exterior wall structures based on wall orientation", *Applied Thermal Engineering*, 112, 15-24.

Pitts A., (2004), "Planning and Design Strategies for Sustainability and Profit: Pragmatic Sustainable Design on Building and Urban Scales", s. 5, Architectural Press, Burlington, ABD.

Radhi H., Sharples S., (2012), "Global warming implications of facade parameters: a life cycle assessment of residential buildings in Bahrain", *Environmental Impact Assessment Review*, 38, 99-108.

Portney, K.E., (2015), "Türkiye İMSAD Yapı Sektörü Raporu, Murat Ofset Matbaacılık", *The Concept of Sustainability*, 87-107, İstanbul.

Reyhani M., Santolini E., Torreggiani D., Tassinari P., (2022), "Assessing the environmental performance of plastic-based and felt-based green wall systems in a life-cycle perspective", *Science of the Total Environment*, 822, 153648.

Rincón, L., Castell, A., Pérez, G., Solé, C., Boer, D., Cabeza, L.F. (2013). Evaluation of the environmental impact of experimental buildings with different constructive systems using material flow analysis and life cycle assessment. *Applied Energy*, 109, 544-552.

Samardzioska T., Apostolska R., (2016), "Measurement of heat-flux of new type facade walls", *Sustainability*, 8(10), 1031.

Sarpaşar E., (2017), "Sürdürülebilir cephe tasarımı eğitiminin iyileştirilmesi için uygulama projesi dersi kapsamında model önerisi, İtü örneği", Yüksek Lisans Tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Mimarlık Anabilim Dalı, İstanbul, Türkiye.

Spiegel R., Meadows D., (2010), "Green Building Materials: A Guide to Product Selection and Specification", John Wiley & Sons, Inc. pp. 1-7, Newyork.

Stazi F., Mastrucci A., Munafò P., (2012), "Life cycle assessment approach for the optimization of sustainable building envelopes: An application on solar wall systems", *Building and Environment*, 58, 278-288.

Stephan A., Jensen C.A., Crawford R. H., (2017), "Improving the life cycle energy performance of apartment units through facade design", *Creative Construction Conference*, 196, 1003-1010.

Schittich C., (2001), "In Detail: Building Skins: Concepts, Layers, Materials", Birkhaeuser, Basel, İsviçre.

Streimikiene D., Skulskis V., Balezentis T., Agnusdei G. P., (2020), "Uncertain multi-criteria sustainability assessment of green building insulation materials", *Energy and Buildings*, 219, 110021.

Struhala K., Čekon M., Slávik R., (2018), "Life cycle assessment of solar facade concepts cased on transparent insulation materials", *Sustainability*, 10(11), 4212, <https://doi.org/10.3390/su10114212>.

Sun Y., Wu Y., Wilson R., Sun S., (2016), "Thermal evaluation of a double glazing façade system with integrated parallel slat transparent insulation material (Ps-tim)", *Building and Environment*, 105, 69-81.

Talanag R.P., Sirivithayapakorn S., (2018), "Comparing environmental burdens, economic costs and thermal resistance of different materials for exterior building walls", *Journal of Cleaner Production*, 197, 1508-1520.

Taygun, G. T., (2005), "Yapı Ürünlerinin Yaşam Döngüsü Değerlendirmesine Yönelik Bir Model Önerisi", Doktora Tezi, Yıldız Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.

Tedesco, S., Giordano, R., Montacchini, E. (2016). How to measure the green façade sustainability a proposal of a technical standart. SBE16 Tallinn and Helsinki Conference; Build Green and Renovate Deep, 96, 560-567.

Theodosiou T. G., Tsikaloudaki A. G., Kontoleon K.J., Bikas D.K., (2015), "Thermal bridging analysis on cladding systems for building facades", *Energy and Buildings*, 109, 377-384.

Toplu P.T., (2018), "2000 yılı öncesi inşa edilmiş konutların cephelerinin enerji etkin yenilenmesi için model cephe sistemi önerisi", Yüksek Lisans Tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Mimarlık Anabilim Dalı, İstanbul, Türkiye.

Torgal F.P., Jalali S., (2011), "Eco-efficient Construction and Building Materials", Springer-Verlag, London Limited.

Türkmen B., (2019), "Türkiye'de sürdürülebilir bina sertifikalı ve yerel mevzuata göre inşa edilmiş sanayi kabuk elemanlarının çevresel etki değerlendirmesi", Yüksek Lisans tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Mimarlık Anabilim Dalı, İstanbul, Türkiye.

U.S. Environmental Protection Agency, (2006), "Life Cycle Assessment: Principles and Practice", EPA/600/R-06/060, May 2006, National Risk Management Research Laboratory, Office of Research and Development, Cincinnati, Ohio, USA.

Verbeeck G., Hens H., (2010). "Life cycle inventory of buildings", *Building and Environment*, 45, 4, 1037-1041.

Web 1, (2022): <https://www.oxfordlearnersdictionaries.com/definition/english/sustainability?q=SUSTAINABILITY>, (Erişim Tarihi: 18.05.2022).

Web 2, (2022), <http://www.skdturkiye.org/files/yayin/100-Maddede-Surdurulebilirlik-Rehberi.pdf>, (Erişim Tarihi: 18.05.2022).

Web 3, (2022), <https://www.akillisehirler.gov.tr/wp-content/uploads/2021/05/Yeni-Kentsel-Gundem-ve-Akilli-Sehirler-Rehberi.pdf>, (Erişim Tarihi: 18.05.2022).

Web 4, (2022), [https://www.stonecycling.com/news/what-is-breeam/#:~:text=BREEAM%20is%20used%20in%20more,and%20Germany%20\(BREEAM%20DE\)](https://www.stonecycling.com/news/what-is-breeam/#:~:text=BREEAM%20is%20used%20in%20more,and%20Germany%20(BREEAM%20DE),), (Erişim Tarihi: 25.05.2022).

Web 5, (2022), <https://cedbik.org/en/green-buildings-7-pg/breeam-10-pg>, (Erişim Tarihi: 25.05.2022).

Web 6, (2022), <http://erketasarim.com/yesil-bina-danismanligi/leed-sertifika-danismanligi/>, (Erişim Tarihi: 25.05.2022).

Web 7, (2022), <https://epdturkey.org/epd-hakkinda/epd-turkey/>, (Erişim Tarihi: 26.05.2022).

Web 8, (2022), <https://www.oxfordlearnersdictionaries.com/definition/english/facade?q=facade>, (Erişim Tarihi: 26.05.2022).

Wilbanks, T. J., (2011), "Scale and Sustainability", Climate Policy, cilt 7, no. 4, pp., 278-287.

Yaman M., (2021), "Different facade types and building integration in energy efficient building design strategies", International Journal of Built Environment and Sustainability, 8(2), 49-61.

Žigart M., Lukman R.K., Premrov M., Žegarac L., (2018), "Environmental impact assessment of building envelope components for low-rise buildings" Energy, 163, 501-512.

ÖZGEÇMİŞ

Gölsüm GÜLER GÜRKAN 2011 yılında başladığı Gebze Teknik Üniversitesi Mimarlık Fakölteſi Mimarlık Bölümü’nü 2016 yılında başarıyla tamamladı. 2016-2018 yılları arasında konut, okul ve fabrika projelerinde tasarım ve uygulama üzerine Bursa’da bir mimarlık ofisinde çalıştı. 2018 yılında Gebze Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Mimarlık Anabilim Dalında yüksek lisansa eğitime başladı. 2018 yılından itibaren cephe sektöründe yer alan bir şirketin şantiye ekibinde teknik ofis mimarı olarak Bursa’da ve Romanya’daki projeleri başarıyla tamamladı. Halen Romanya’da söz konusu şirkette cephe sektöründe çalışmaya devam etmektedir.

EKLER

Ek A: Tez Çalışması Kapsamında Yapılan Çalışmalar

Güler Gürkan G., Karaman Öztaş S., Sürdürülebilir Cephe Malzemesi Üzerine Bir Araştırma, Lisansüstü Araştırmalar Sempozyumu, 1-2 Haziran 2022, Gebze Teknik Üniversite, Koceli.



EK B.: Açıklamalar

Tablo B.1.1: Meta analizinde kullanılan kaynak listesi.

Sıra	Yazar	Tür	Başlık	Ülke	Çalışmada Kullanılan Yöntemler	Değerlendirmeye alınan yapı malzemeleri
1	[Reyhani vd., 2022]	Makale	Assessing the environmental performance of plastic-based and felt-based green wall systems in a life-cycle perspective	İtalya	YDD Simülasyon Karşılaştırma	Platik tabanlı ve keçe tabanlı duvar sistemleri
2	[Egluz vd., 2021]	Makale	Multi-criteria decision-making method for sustainable energy-saving retrofit facade solutions	İspanya	Çoklu karar verme kriteri	Cephe malzemeleri
3	[Hatefi vd., 2021]	Makale	Model for the sustainable material selection by applying integrated dempster-shafer evidence theory and additive ratio assessment (AraS) method	İsviçre	Anket çalışması Çoklu karar verme kriteri Karşılaştırma	Alüminyum kaplama Kil tuğla Cam cephe Tuğla ve harç duvar Taş cephe kaplaması
4	[İngeli vd., 2021]	Makale	Impact of an innovative solution for the interruption of 3-D point thermal bridges in buildings on sustainability	Slovakya	Simülasyon Karşılaştırma	Cephe kaplama ve ankraj sistemleri
5	[Yaman, 2021]	Makale	Different facade types and building integration in energy efficient building design strategies	Malezya	Karşılaştırma	Cephe malzemeleri
6	[Li ve Tingley, 2021]	Makale	Solid wall insulation of the Victorian house stock in England a whole life carbon perspective	UK	YDD Nisel hesaplama Karşılaştırma	8 farklı Duvar yalıtım malzemeleri
7	[Friedrich, 2021]	Makale	How building experts evaluate the sustainability and performance of novel bioplastic-based textile façades an analysis of decision making	Almanya	Anket Çalışması Karşılaştırma	Biyoplastik cephe malzemeleri
8	[Akram vd.,]	Makale	Global technological advancement and challenges of glazed window, facade system and vertical greenery-based energy savings in buildings a comprehensive review-çeviri	Çin	Karşılaştırma	Camlı pencere
9	[Ferreira vd., 2021]	Makale	Criteria for selection of cladding systems based on their maintainability	Portekiz	Karşılaştırma Çoklu karar verme kriteri	6 farklı Cephe kaplaması
10	[Mayhoub vd., 2021]	Makale	Assessment of green building materials' attributes to achieve sustainable building facades using Ahp	Mısır	Analitik Hiyerarşi Yöntemi	Cephe malzemeleri
11	[Feehan vd., 2021]	Makale	Adopting an integrated building energy simulation and life cycle assessment framework for the optimisation of facades and fenestration in building envelopes	İrlanda	Simülasyon Karşılaştırma YDD	Cephe ve pencere
12	[Gregório-Atem vd., 2020]	Makale	Opaque ventilated facade (Ovf) thermal performance simulation for office buildings in Brazil	Brezilya	Simülasyon Karşılaştırma Modelleme	Seramik kaplama Taş kaplama Alm. kompozit kaplama Mineral yünü Akçapan

Tablo B.1.1: Devam

Sıra	Yazar	Tür	Başlık	Ülke	Çalışmada Kullanılan Yöntemler	Değerlendirmeye alınan yapı malzemeleri
13	[Dunel ve Barbosa, 2020]	Bildiri	Evaluation of the thermal performance of a social interest housing (Sih) with ecological brick masonry produced with urban solid waste stabilized in a tropical climate to replace the use of traditional building materials	Brezilya	Simülasyon	Ekolojik tuğla
14	[Streimikienė vd., 2020]	Makale	Uncertain multi-criteria sustainability assessment of green building insulation materials	İtalya	Çoklu karar verme kriteri	Yalıtım malzemeleri
15	[Kavitha ve Molykutty]	Makale	Life cycle energy analysis of a glazed commercial building using building information modelling (Bim) tools	Hindistan	Modelleme Simülasyon Karşılaştırma	Cam
16	[O'Neill vd., 2020]	Makale	Integrated operational and life-cycle modelling of energy, carbon and cost for facade buildings	Avustralya	Alan Çalışması Modelleme Simülasyon Karşılaştırma	6 mm clear cam 6 mm low-e cam 6 mm clear cam+12 mm hava boşluğu+6 mm clear cam 6 mm clear cam+12 mm hava boşluğu+6 mm low-e cam
17	[Balali ve Valipour, 2020]	Makale	Identification and selection of building facade's smart materials according to sustainable development goals	İran	Anket Çalışması Analitik Hiyerarşi Y. Karşılaştırma	Fotovoltaik cephe m.
18	[Muhtademçad vd., 2020]	Makale	Enhanced facade design a data-driven approach for decision analysis is based on past experiences	Kanada	Karşılaştırma	Cephe sistemleri
19	[Andric vd., 2020]	Makale	Efficiency of green roofs and green walls as climate change mitigation measures in extremely hot and dry climate case study of Qatar	Katar	Modelleme Simülasyon	Duvar ve çatı malzemeleri
20	[Moghtadernejad vd., 2020]	Makale	Design strategies using multi-criteria decision-making tools to enhance the performance of building facades	Kanada	Çoklu karar verme kriteri Analitik Hiyerarşi Y. Karşılaştırma	Cephe malzemeleri
21	[Türkmen, 2019]	Tez	Türkiye'de sürdürülebilir bina sertifikalı ve yerel mevzuata göre inşa edilmiş sanayi kapak elemanlarının çevresel etki değerlendirilmesi	Türkiye	Alan Çalışması YDD Simülasyon Karşılaştırma	Sanayi Cepheleeri
22	[Mayhoub vd., 2019]	Bildiri	Development of green building materials evaluation criteria to achieve optimum building facade energy performance	Mısır	Alan Çalışması Simülasyon	Tuğla EPS yalıtım Sıva
23	[Mifsud vd., 2019]	Makale	Comparative life cycle analysis of facade passive systems in the Mediterranean: comfort, energy, and carbon	Malta	YDD Modelleme	Pasif cephe sistemleri

Tablo B.1.1: Devam

Sıra	Yazar	Tür	Başlık	Ülke	Çalışmada Kullanılan Yöntemler	Değerlendirmeye alınan yapı malzemeleri
24	[Cekon ve Slávik, 2018]	Makale	Life cycle assessment of solar facade concepts based on transparent insulation materials	Çek Cumhuriyeti	Modelleme YDD	EPS yalıtım Çimento harcı Mineral sıva Cam kapak Polikarbonat nSSA SGK
25	[Gil-Baez vd., 2018]	Makale	Passive actions in the building envelope to enhance sustainability schools in a Mediterranean climate	İspanya	Modelleme Simülasyon	Bina kabuğu
26	[Hammad vd., 2018]	Makale	Optimising embodied carbon and u-value in load bearing walls: a mathematical bi-objective mixed integer programming approach	Avustralya	Modelleme	Dış duvar
27	[Zigart vd., 2018]	Makale	Environmental impact assessment of building envelope components for low-rise buildings	Slovenya	Simülasyon YDD	Duvar ve çatı malzemeleri
28	[Sirivithayapakorn ve Talang, 2018]	Makale	Comparing environmental burdens, economic costs and thermal resistance of different materials for exterior building walls	Tayland	Analitik Hiyerarşi Y. Modelleme Karşılaştırma YDD	Çazbeton ve tuğla
29	[Toplu, 2018]	Tez	2000 yılı öncesi inşa edilmiş konutların cephelerinin enerji etkin yenilenmesi için model cephe sistemi önerisi	Türkiye	Modelleme Simülasyon	Konut Cephesi
30	[Petrone ve Balocco, 2017]	Makale	Numerical modelling for the thermal performance assessment of a semi-opaque facade with a multilayer of nano-structured and phase change materials	İtalya	Simülasyon	Cephe malzemeleri
31	[Sarpasaz, 2017]	Tez	Sürdürülebilir cephe tasarımı eğitiminin iyileştirilmesi için uygulama projesi dersi kapsamında model önerisi, İtû ömüğü	Türkiye		Cephe malzemeleri
32	[Moussavi vd., 2017]	Makale	Multi-criteria selection of facade systems based on sustainability criteria	Avustralya	Anket Çalışması Modelleme	Çift Tuğla Alüminyum Kompozit Panel Seramik Kaplama Çazbeton
33	[Stephan vd., 2017]	Bildiri	Improving the life cycle energy performance of apartment units through facade design	Hırvatistan	Alan çalışması Analiz çalışması	Dış duvar

Tablo B.1.1: Devam

Sıra	Yazar	Tür	Başlık	Ülke	Çalışmada Kullanılan Yöntemler	Değerlendirmeye alınan yapı malzemeleri
34	[Ghani vd., 2017]	Bildiri	A new sustainability assessment approach based on stakeholder's satisfaction for building facades	İspanya	Modelleme	Cephe malzemeleri
35	[Samardzioska ve Apostolska, 2016]	Makale	Measurement of heat-flux of new type facade walls	Makedonya	Nicel hesaplama	Cephe duvarları
36	[Pekdoğan ve Basaran, 2016]	Makale	Thermal performance of different exterior wall structures based on wall orientation	Türkiye	Nicel hesaplama	Dış duvar
37	[Tedesco vd., 2016]	Bildiri	How to measure the green façade sustainability a proposal of a technical standard	İtalya		Duvar Sistemleri
38	[Wu vd., 2016]	Makale	Thermal evaluation of a double glazing façade system with integrated parallel slat transparent insulation material (Ps-tim)	UK	Modelleme Karşılaştırma	Çift cam cephe sistemi
39	[Theodosiou vd., 2015]	Makale	Thermal bridging analysis on cladding systems for building facades	Yunanistan	Analiz çalışması	Cephe kaplamaları
40	[Cui vd., 2015]	Bildiri	Review of phase change materials integrated in building walls for energy saving	Çin	Analiz çalışması	Dış duvar
41	[Han vd., 2015]	Makale	Life cycle assessment of ceramic facade material and its comparative analysis with three other common facade materials	Çin	Simülasyon Karşılaştırma	Seramik cephe paneli Cam Mermer
42	[Paiho vd., 2015]	Makale	An energetic analysis of a multifunctional facade system for energy efficient retrofitting of residential buildings in cold climates of Finland and Russia	Finlandiya	Modelleme Simülasyon	Cephe malzemeleri
43	[Castro vd., 2014]	Makale	Impact of the lifespan of different external walls of buildings on greenhouse gas emissions under tropical climate conditions	Brezilya	Modelleme Simülasyon	Dış duvar
44	[Haggag vd., 2014]	Makale	Experimental study on reduced heat gain through green facades in a high heat load climate	Birleşik Arap Emirlikleri	Alan çalışması Deneyel çalışma	Yeşil duvarlar
45	[Hradil vd., 2013]	Makale	Durability considerations of refurbished external walls	Finlandiya	Analiz çalışması	Beton duvarlar

Tablo B.1.1: Devam

Sıra	Yazar	Tür	Başlık	Ülke	Çalışmada Kullanılan Yöntemler	Değerlendirmeye alınan yapı malzemeleri
46	[Rincón vd., 2013]	Makale	Evaluation of the environmental impact of experimental buildings with different constructive systems using material flow analysis and life cycle assessment	İspanya	YDD Analiz çalışması Karşılaştırma	Cephe sistemleri
47	[Häkkinen, 2012]	Makale	Systematic method for the sustainability analysis of refurbishment concepts of exterior walls	Finlandiya	Simülasyon Analiz çalışması	Dış duvarlar
48	[Stazi vd., 2012]	Makale	Life cycle assessment approach for the optimization of sustainable building envelopes: An application on solar wall systems	İtalya	YDD Analiz çalışması Simülasyon Karşılaştırma	Dış duvarlar
49	[Radhi ve Sharples, 2012]	Makale	Global warming implications of facade parameters: a life cycle assessment of residential buildings in Bahrain	Bahreyn	Nicel hesaplama Analiz çalışması Karşılaştırma YDD	Konut cepheleri
50	[Azari-N ve Kim, 2011]	Makale	Comparative assessment of life cycle impacts of curtain wall mullions	USA	YDD Analiz çalışması	Giydime cepheler
51	[Kim, 2011]	Makale	A comparative life cycle assessment of a transparent composite facade system and a glass curtain wall system	USA	YDD Simülasyon Analiz çalışması	Şeffaf kompozit cephe sistemi Giydime cam cephe sistemi
52	[Kaya, 2010]	Tez	Sürdürülebilir dış duvar sistemi için tasarım seçeneklerinin geliştirilmesi	Türkiye	YDD Anket Çalışması Karşılaştırma	Dış Duvar