



**T.C.
KONYA TEKNİK ÜNİVERSİTESİ
LİSANSÜSTÜ EĞİTİM ENSTİTÜSÜ**

**3D YAZICI İLE YAPILAN FARKLI FORMDA
BETON KONUTLARIN ENERJİ
VERİMLİLİĞİ ANALİZİ**

Elif SANCI YALVAÇ

YÜKSEK LİSANS TEZİ

İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı

**Mayıs- 2023
KONYA
Her Hakkı Saklıdır**

TEZ KABUL VE ONAYI

Elif SANCI YALVAÇ tarafından hazırlanan “3D Yazıcı ile Yapılan Farklı Forma Beton Konutların Enerji Verimliliği Analizi” adlı tez çalışması 15/05/2023 tarihinde aşağıdaki jüri tarafından oy birliği ile Konya Teknik Üniversitesi Lisansüstü Eğitim Enstitüsü İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı’nda YÜKSEK LİSANS olarak kabul edilmiştir.

Jüri Üyeleri

İmza

Başkan

Dr. Öğr. Üyesi Gamze DOĞAN

.....

Danışman

Prof. Dr. Musa Hakan ARSLAN

.....

Üye

Dr. Öğretim Üyesi Nebi ÖZDÖNER

.....

Yukarıdaki sonucu onaylarım.

Prof. Dr. Saadettin Erhan KESEN
Enstitü Müdürü

TEZ BİLDİRİMİ

Bu tezdeki bütün bilgilerin etik davranış ve akademik kurallar çerçevesinde elde edildiğini ve tez yazım kurallarına uygun olarak hazırlanan bu çalışmada bana ait olmayan her türlü ifade ve bilginin kaynağına eksiksiz atıf yapıldığını bildiririm.

DECLARATION PAGE

I hereby declare that all information in this document has been obtained and presented in accordance with academic rules and ethical conduct. I also declare that, as required by these rules and conduct, I have fully cited and referenced all material and results that are not original to this work.

İmza

Elif SANCI YALVAÇ

Tarih: 17.05.2023

ÖZET

YÜKSEK LİSANS

3D YAZICI İLE YAPILAN FARKLI FORMDA BETON KONUTLARIN ENERJİ VERİMLİLİĞİ ANALİZİ

Elif SANCI YALVAÇ

Konya Teknik Üniversitesi
Lisansüstü Eğitim Enstitüsü
Yapı Anabilim Dalı

Danışman: Prof. Dr. Musa Hakan ARSLAN

2023, 84 Sayfa

Jüri

Prof. Dr. Musa Hakan ARSLAN (Danışman)
Dr. Öğretim Üyesi Gamze DOĞAN
Dr. Öğretim Üyesi Nebi ÖZDÖNER

Binaların enerji verimliliğini hesaplamak için, güneş ışınımı, dış hava sıcaklığı, dış bağıl nem ve toprak sıcaklığı gibi verilere ihtiyaç duyulmaktadır. Gerekli olan ısıtma ve soğutma enerjisi miktarlarını bulmak için yapılan hesaplamalar, binanın bulunduğu yerdeki meteorolojik verilere dayanarak yapılmaktadır.

3D yazıcı teknolojisi ile üretilmiş olan beton konutlarda ısıtma ve soğutma enerjisinin mertebesinin belirlenmesi son derece önemlidir. Türkiye’de bu konuda yapılmış saha ve alan çalışmaları henüz başlangıç seviyesinde olmakla beraber Dünya’da 3D yazıcı ile üretilen beton konutların sayısının gün geçtikçe artıyor olması bu konunun inşaat sektöründe ileriki yıllarda önemli bir araştırma alanı olacağını da göstermektedir. Bu motivasyondan hareketle bu tez çalışmasında Türkiye’nin topraklarının önemli kısmında etkin olan karasal iklim verileri düşünülerek 3D yazıcı ile üretilmiş beton binaların konfor sıcaklıklarına bağlı olarak ısıtma ve soğutma enerjileri hesaplanmıştır. Bu kapsamda özdeş kat alanlarına sahip konutların çatı tipi (düz çatı, yaşam alanı tanımsız beşik çatı 1, yaşam alanı tanımlı beşik çatı 2), pencere / duvar alanları (%20, %30, %40) ve seçilen duvar özelliklerine (organik bağlayıcı ve toz haline getirilmiş silika kumlu Mix 3 karışımı) bağlı olarak 27 farklı model oluşturulmuştur. Modeller üzerinde Design Builder programı ile bina için gerekli olan konfor sıcaklığına ulaşılabilmesi için ihtiyaç olan ısıtma ve soğutma enerjisi, yapının ısıl konforuna ve bu konforun iç ortama göre dağılımına bakılarak hesaplanmıştır. Sonuçlar Excel tablosuna aktarılmış ve gerekli olan ısıtma ve soğutma enerji miktarların grafikler ile karşılaştırılmıştır.

Analizler sonucunda Konya bölgesinde 3D yazıcı teknolojisi ile üretililebilecek en uygun binanın, ısıtma enerjisi açısından kıyaslandığında pencere / duvar oranı %20, duvarlarında Mix 3 karışimli beton kullanılan ve çatısı yaşam alanı tanımlı beşik çatı 2 olan tip olduğu; binanın konfor sıcaklığına ulaşması için gerekli soğutma enerjisi açısından kıyaslandığında pencere / duvar oranı %20, duvarlarında Mix 2 karışimli beton kullanılan ve çatısı yaşam alanı tanımlı beşik çatı 2 olan tip olduğu tespit edilmiştir. Çalışma neticesinde 3D beton ile imal edilecek konutlar için tasarım önerilerinde de bulunulmuştur.

Anahtar Kelimeler: Çatı Tipi, Pencere/Duvar Boşluk Oranı, Karasal İklim, Design Builder, Isıtma Enerjisi, Soğutma Enerjisi, 3D Yazıcı.

ABSTRACT

MS THESIS

ENERGY EFFICIENCY ANALYSIS OF DIFFERENT FORM CONCRETE HOUSING MADE WITH 3D PRINTER

Elif SANCI YALVAÇ

Konya Technical University
Institute of Graduate Studies
Department of Civil Engineering

Advisor: Prof. Dr. Musa Hakan ARSLAN

2023, 84 Pages

Jury

Prof. Dr. Musa Hakan ARSLAN (Advisor)

Asst. Prof. Dr. Gamze DOĞAN

Asst. Prof. Dr. Nebi ÖZDÖNER

In order to calculate the energy efficiency of buildings, data such as solar radiation, outside air temperature, external relative humidity and soil temperature are needed. Calculations to find the required amount of heating and cooling energy are made based on meteorological data at the building's location.

It is extremely important to determine the level of heating and cooling energy in concrete houses produced with 3D printer technology. Although the field and field studies on this subject in Turkey are still at the initial level, the fact that the number of concrete houses produced with 3D printers in the world is increasing day by day shows that this subject will be an important research area in the construction sector in the coming years. Based on this motivation, in this thesis study, considering climate data, which is effective in a significant part of Turkey's lands, heating and cooling energies were calculated depending on the comfort temperatures of the concrete buildings produced with a 3D printer. In this context, the roof type of the houses with identical floor areas (flat roof, gable roof 1 without living area, gable roof 2 with living area defined), window / wall areas (20%, 30%, 40%) and selected wall characteristics (organic binder and 27 different models were created depending on the powdered silica sand mix (mixture 3). With the Design Builder program on the models, the heating and cooling energy needed to reach the comfort temperature required for the building was calculated by looking at the thermal comfort of the building and the distribution of this comfort according to the indoor environment. The results were transferred to the Excel table and the required heating and cooling energy amounts were compared with the graphics.

As a result of the analyzes, it was determined that the most suitable building to be produced with 3D printer technology in Konya, when compared in terms of heating energy, the window / wall ratio is 20%, the walls are mixed with mix 3 concrete and the roof is a gable roof 2 with a living area defined; When the temperature of the building is compared in terms of the cooling service required for the room, it has been determined that the window / wall ratio is 20%, the walls are mixed with Mix 2 concrete and the roof is the living area defined gable roof 2 type. It is also presented in design solutions for residences to be manufactured with 3D concrete in the working.

Keywords: Roof type, Window/Wall Space Ratio, Continental climate, Design Builder, Heating energy, Cooling energy, 3D printer.

ÖNSÖZ

Tez çalışmamda tüm bilgi ve birikimiyle bana yardımcı olan çok değerli danışman hocam Prof. Dr. Musa Hakan ARSLAN' a, eşi Doç. Dr. H. Derya ARSLAN' a, Dr. Öğr. Üyesi Sercan DOĞAN'a, eşi Dr. Öğr. Üyesi Gamze DOĞAN' a ve lisans ve yüksek lisans öğrenimim boyunca bana eğitim veren üzerimde emeği olan tüm saygıdeğer hocalarıma kalpten teşekkür ederim. Ayrıca eğitim ve öğretim dönemim boyunca bana her türlü maddi ve manevi desteği esirgemeyen sevgili eşim Yunus YALVAÇ' a, sevgili babam Ahmet SANCI' ya, sevgili annem Hatice SANCI' ya, sevgili kardeşim Muhammed Ali SANCI' ya ve hem meslektaş ve hem ikiz kardeşim olan Esra SANCI YALVAÇ' a, eniştem Emre YALVAÇ' a ve sevgili kayınvalidem Münevver AKALIN' a sonsuz teşekkür ve minnetimi sunarım.

Elif SANCI YALVAÇ
KONYA-2023

İÇİNDEKİLER

ÖZET	iv
ABSTRACT.....	v
ÖNSÖZ	vi
İÇİNDEKİLER	vii
SİMGELER VE KISALTMALAR	ix
1. GİRİŞ	1
1.1. Tezin Amacı	4
1.2. Tezin Kapsamı	5
1.3. Çalışmanın Hipotezi.....	5
1.4. Tezin Yöntemi.....	5
1.5. Kaynak Araştırması.....	8
1.5.1. 3D yazıcı beton teknolojisi alanında makale araştırması.....	8
1.5.2. Enerji verimliliği alanında yapılan çalışmalar	19
1.5.2.1. Doğal havalandırmaya yönelik pasif soğutma stratejileri.....	19
1.5.2.2. Doğal havalandırmaya yönelik pasif soğutma stratejileri.....	19
1.5.2.3. Binanın konumlandırılması.....	20
1.5.2.4. Doğal havalandırma	21
1.5.2.5. Bina kabuğu	22
2. KAVRAMSAL ALTYAPI	25
2.1. 3D Yazıcıların Kullanım Alanları	25
2.1.1. Mühendislikte 3D yazıcı kullanımı.....	25
2.1.2. Mimarlıkta 3D yazıcı kullanımı.....	25
2.1.3. Otomotiv sektöründe 3D yazıcı kullanımı	26
2.1.4. Tıpta ve medikalde 3D yazıcı kullanımı.....	26
2.1.5. Havacılıkta 3D yazıcı kullanımı	27
2.1.6. Eğitimde 3D yazıcı kullanımı	27
2.1.7. Kuyumculuk ve aksesuar alanında 3D yazıcı kullanımı.....	28
2.1.8. İnşaat Mühendisliğinde 3D yazıcı kullanımı	28
2.2. 3D Beton	29
2.3. Konfor Sıcaklığı (°C).....	30
2.4. Isıtma Tasarımı (Heating Design).....	31
2.5. Soğutma Tasarımı (Cooling Design)	31
3. MATERYAL VE YÖNTEM.....	32
3.1. Analizlerde Kullanılan Parametreler	32
3.1.1. Duvar tipi	32
3.1.2. Pencere tipi	35
3.1.3. Çatı tipi	36
3.2. Kullanılan Program.....	38

3.3. Bina Kat Planı ve Mimarisi	40
3.4. Programa Veri Girişlerinin Yapılması	42
3.4.1. Design Builder programında binanın konum ve hava durumu verilerinin tanımlanması.....	42
3.4.2. Design Builder programında binanın mekânları tanımlanması	44
3.4.3. Design Builder programında mekân hareket şablonlarının tanımlanması....	45
3.4.4. Design Builder programında binanın yapı elemanlarının tanımlanması	
3.4.4.1. Design Builder programında binanın duvar elemanlarının tanımlanması .	50
3.4.4.2. Design Builder programında binanın temelinin tanımlanması	53
3.4.4.3. Design Builder programında binanın pencere ve kapı elemanlarının tanımlanması.....	54
3.4.4.4. Design Builder programında binanın çatısının tanımlanması.....	56
4. ANALİZ SONUÇLARIN KARŞILAŞTIRMALI DEĞERLENDİRMESİ.....	61
4.1. Isıtma ve Soğutma Açısından Değerlendirme	61
4.2. Araştırma Sonuçların Karşılaştırılması.....	67
4.2.1. Isıtma Tasarımı analizi sonucundaki blok tasarım kapasitesi (kW) yüklerinin çatı tipleri yönünden karşılaştırılması.....	67
4.2.2. Isıtma Tasarımı analizi sonucundaki blok tasarım kapasitesi (kW) yüklerinin beton çeşitleri ve pencere yüzdeleri yönünden binaların karşılaştırılması	69
4.2.3. Soğutma Tasarımı analizi sonucundaki blok tasarım kapasitesi (kW) yüklerinin çatı tipleri yönünden karşılaştırılması	71
4.2.4. Soğutma Tasarımı analizi sonucundaki blok tasarım kapasitesi (kW) yüklerinin beton çeşitleri ve pencere yüzdeleri yönünden karşılaştırılması	73
5. SONUÇLAR, TARTIŞMA ve ÖNERİLER	76
5.1 Sonuçlar	76
5.1.1. Tez çalışmasında yer alan hipotezlerin değerlendirmesi	77
5.2 Tartışma	78
5.3 Öneriler	79
KAYNAKLAR	81

SİMGELER VE KISALTMALAR

Simgeler

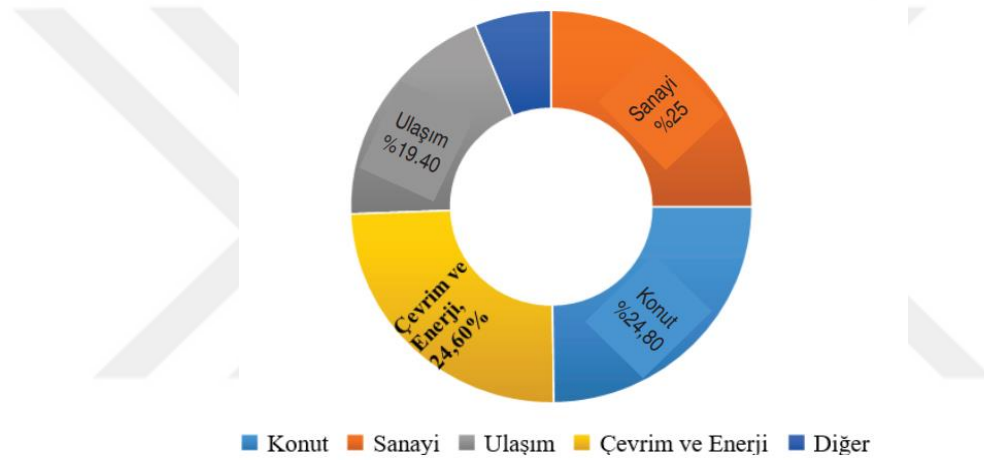
A_c / h	:	Saat başına hava değişimi, sızıntı oranı
kW	:	Kilowatt
m^2	:	Metrekare
U-değeri	:	Toplam ısı transfer katsayısı (W/m^2K)
W / m^2K	:	Toplam ısı transfer katsayısı birimi
K	:	Kelvin, sıcaklığın ölçüsü birimidir

Kısaltmalar

ASHRAE	:	Amerikan Isıtma-Soğutma ve İklimlendirme Mühendisleri Birliği
E- PLA	:	Polilaktik Asit Yalıtım Malzemesi
EPW	:	EnergyPlus Weather Format
HVAC	:	Heating Ventilating And Air Conditioning / Isıtma, Soğutma ve Havalandırma Sistemi
İSTON	:	İstanbul Beton Elemanları ve Hazır Beton Fabrikaları Sanayi ve Ticaret Anonim şirketi
PVC	:	Polivinil klorür plastik polimer
USDE	:	Amerika Birleşik Devletleri Enerji Bakanlığı
3DPC	:	3D Beton Baskı

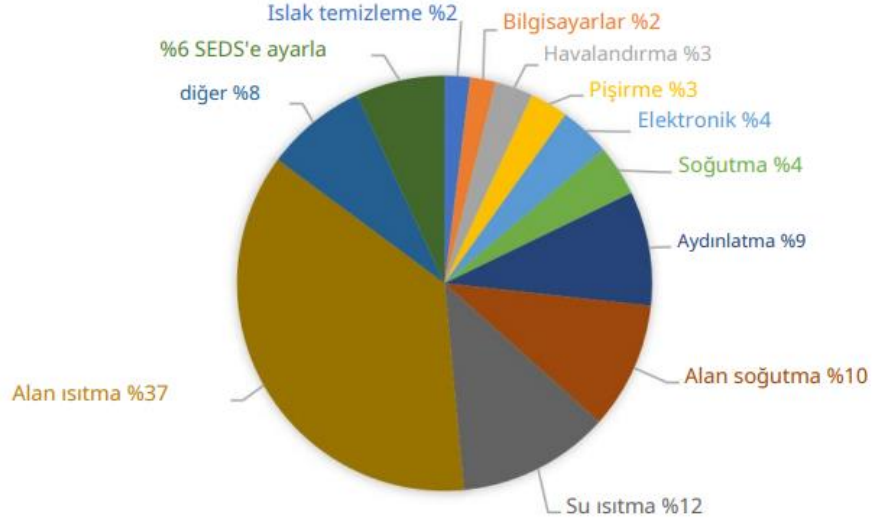
1. GİRİŞ

Bina sektörünün dünya genelinde nihai enerji tüketimindeki payı %25'i, küresel elektrik tüketimindeki payı ise %45'yi geçmiş olup küresel karbon emisyonlarının üçte biri bina sektörü sorumludur. Nihai enerji tüketimin sektörel dağılımı Şekil 1.1'de verilmiştir. Dünya geneline bakıldığında enerji harcanması yönünden ön sırada yer alan binaların enerji harcama miktarlarının azaltılması küresel bakış yönünden büyük önem arz etmektedir. Yapı, çevre ve insanların bina içi yaşamları için gerekli enerji kullanım miktarları dikkate alındığında enerji kullanımının önüne geçilmesi için birtakım çalışmaların yapılması gerektiği kanısına varılmıştır.



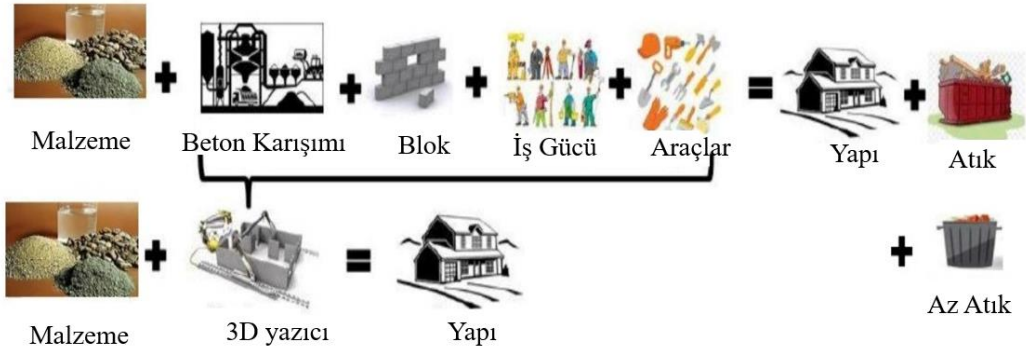
Şekil 1.1. Nihai Enerji Tüketiminin Sektörel Dağılımı (Koç vd., 2018)

Türkiye birçok iklim çeşitliliği içeren ülkeler arasında yer almaktadır. Yapıların mimari özelliklerine bakıldığında bölgenin iklim özellikleri ve arazinin özellikleri incelenmeden standartlaşmış mimariye sahip yapıların yapılması, binalarda kullanılan enerji miktarının gerektiğinden fazla kullandığını gözler önüne sermektedir. Binalarda kullanılan enerji miktarı, toplam kullanılan enerji ile kıyaslanmasına örnek olarak Amerika Birleşik Devletleri'ndeki bulunan konut bina enerji tüketimi Şekil 1.2'de verilmiştir.



Şekil 1.2. Amerika Birleşik Devletleri'ndeki konut bina enerji tüketimi (USDE, 2012)

Kullanım esnasında harcanan fazla enerjinin yanı sıra geleneksel yapı üretim sürecinde de gerektiğinden fazla enerji harcanmaktadır. Harcanan bu fazla enerjinin azaltılması yönünde gerekli adımlar atılması gerekmektedir. Bu gereksinim günümüzdeki bina üretimini yeni teknolojik çalışmalara yönlendirmiştir. Bu çalışmalardan en büyük adımlarından biri de otomatik yapı üretimidir. Çalışmalar ve deneyler incelendiğinde otomatik yapı üretim teknolojilerinden 3D yazıcı betonu ile geleneksel inşaat yöntemlerine göre daha az enerji ile yapı üretimin mümkün olduğu tespit edilmiştir. Ayrıca geleneksel inşaat yöntemleriyle yapı üretiminde çok miktarda atık malzeme ortaya çıkmakta ve çevre kirliliğine neden olmaktadır. Otomatik yapı üretim teknolojilerinden 3D yazıcı betonu ile çok az miktarda atık malzeme oluşturularak sessiz ve çevreye zehirli gaz salımı yapmadan yapı üretiminin gerçekleştirilebileceği gözlemlenmiştir.



Şekil 1.3. Geleneksel beton bina ve 3D yazıcı beton bina üretim süreci gösterimi (Nadarajah, 2018)

3D yazıcı beton teknolojisi hem mimari hem de yapısal tasarımda daha fazla özgürlük sağlayan, düşük maliyetli ve yüksek hızlı inşaat yöntemi sunmaktadır. Beton yapıların 3D yazımı, bugünkü inşaat teknolojisinde devam eden yüksek teknolojik gelişmelerden birisi olup, yüksek hızlı inşaat, kalıp gerektirmeme, daha az iş yükü ve en önemlisi tasarımda özgürlüğün artması gibi üstünlükleri vardır. 3D yazıcı beton teknolojisinin geleneksel yöntemle kıyasla avantajları ve dezavantajlarına aşağıda maddeler halinde bahsedilmiştir.

Avantajları:

- Beton yazıcılar ile daha kolay karmaşık şekiller üretilebileceğinden kalıp kısıtlamaları olmaksızın ürün tasarımında yeni bir mimari özgürlük mümkündür.
- Üst üste eklemeli üretim yöntemi ile sadece ihtiyaç duyulan yerlerde beton baskı yapılmasına ve beton tüketiminden tasarruf edilmesine olanak sağlamaktadır.
- Robotlarla üretim ile betonun vibrasyonla yerleştirilmesine gerek duyulmamaktadır.
- Kalıp gerektirmemesi nedeniyle üretkenlik artmaktadır.
- 7 gün 24 saat baskı yapabilme ile geleneksel yöntemle bakılarak betonarme bina üretimine kıyasla zaman tasarrufu sunmaktadır.

Dezavantajları:

- 3D yazıcı beton uygulamasının sadece katmanlı bir üretim olması sebebiyle yapıların hem iç hem de dış duvar yüzeylerinde kabartmalı bir görünüm oluşmakta olup yapıların duvarlarında başka bir mimari olasılığa imkân vermemektedir.
- 3D yazıcı beton teknolojinin insan gücüne az ihtiyaç duyan bir teknoloji olması sebebiyle gelecekte iş ve istihdam sorununa yol açabilir.
- 3D yazıcı beton teknoloji ile yapılan binalarda istenilen her beton kullanılamamakta olup sadece katmanlı üretime imkân veren özel betonlar kullanılabilir.

1.1. Tezin Amacı

Yaşam hayatında her alanında enerjiye ihtiyaç duyulmaktadır. Her geçen gün nüfus artışı ile enerjiye olan gereksinim gün geçtikçe artmaktadır. Enerji gereksinimlerinin büyük kısmını da yapılardaki ısıtma ve soğutma ve havalandırma oluşturmaktadır. Günümüzde kullanılan enerji miktarı göz önüne alındığında ısıtma ve soğutma ve havalandırma için kullanılan enerji miktarı büyük bir paya sahiptir. Nüfus artışı ile gerekli olan konut ve barınma ihtiyacı ile düzensiz ve plansız yapı üretiminde artış olmuştur. Bu yapıların enerji etkin tasarım ilkeleri göz önüne alınmadan planlanması ve kontrolsüz yapılması, bulunduğu bölgenin iklim koşulları dikkate alınmaması ile harcanılan enerjinin artmasına sebep olmaktadır. Bu enerjinin büyük bir kısmı da yapının mimari ve karakteristik özellikleri sebebiyle boşa harcanmaktadır. Enerji üretiminde kullanılan doğal kaynakların gün geçtikçe azalması sebebiyle bu boşa harcanan enerjinin önüne geçilmesi gerekmektedir.

Yapılmış olan bu tez çalışmasında, Türkiye’de karasal iklimde yer alan Konya ilinde 3D yazıcı ile üretilecek ve en az miktarda enerjiye ihtiyaç duyacak binanın yapısal ve fiziksel özelliklerini tespiti amaçlanmıştır. Bu amaç doğrultusunda:

- 1) Dış duvarlarda yer alacak pencerelerin yüzdesi,
- 2) Uygulanacak çatı tipi,
- 3) Duvarlarda kullanılacak beton türü gibi parametreler dikkate alınarak bu parametrelerin 3D yazıcı ile üretilecek bir konut binasındaki ısıtma ve soğutma yüklerine olan etkisi analitik yöntemlerle tespit edilecektir.

1.2. Tezin Kapsamı

Bu tez çalışması kapsamında Konya ilinde 3D beton yazıcı ile üretilebilecek bir binanın mimari tipolojisinin enerji verimliliği açısından nasıl olması gerektiğini ayrıntılı bir şekilde açıklanmıştır. Bu kapsamda özdeş kat alanlarına sahip konutların çatı tipi (düz çatı, yaşam alanı tanımsız beşik çatı 1, yaşam alanı tanımlı beşik çatı 2), pencere / duvar alanları (%20, %30, %40) ve seçilen duvar özelliklerine (organik bağlayıcı ve toz haline getirilmiş silika kumlu karışımı) bağlı olarak 27 farklı model oluşturulmuştur. Çalışma kapsamında enerjiyi etkin kullanan bina modellerini tespit etmek için Design Builder programı kullanılmıştır. Kış ve yaz ayları için binanın en çok ısıtma ve soğutma enerjilerine ihtiyaç duyduğu günler program ile tespit edilerek o günlere ait Isıtma ve Soğutma Tasarımı analizlerini yapmıştır. Analizler sonucunda binaların çatı haricindeki yapı bloklarının Tasarım Kapasite değerleri kıyaslanarak ısıtma ve soğutma yükleri açısından enerjiyi etkin kullanan bina modelleri her iki açıdan da tespit edilmiştir.

1.3. Çalışmanın Hipotezi

Yapılan bu tez çalışması için 3 farklı hipotez öne sürülmüştür. Bu hipotezler sırasıyla;

- Hipotez 1: *“Çatı tipi enerji verimliliği için önemli bir parametredir”.*
- Hipotez 2: *“Bina dış cephesinde bulunan pencerelerinin duvar alanına oranı enerji verimliliği için önemli bir parametredir”.*
- Hipotez 3: *“Duvarlarda kullanılacak betonun ısı toplam ısı transfer katsayısı değeri enerji verimliliği için önemli bir parametredir.”* şeklindedir. Çalışmada test edilen model bina üzerinden bu üç hipotezin doğrulanması gerçekleştirilmiştir.

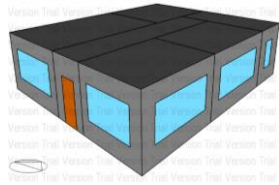
1.4. Tezin Yöntemi

3D yazıcı ile üretilmesi planlanan bir konutun enerji gereksinimlerini en aza indirmek ve boşa harcanan enerjinin önüne geçebilmesi için farklı tip mimari ve beton özelliklerine sahip 27 tip bina Design Builder programında modellenmiştir. Binalar modellenirken gerçekte Türkiye’de 3D robotik yazıcı ile imal edilmiş tek katlı bir bina referans alınmıştır. Bu bina İSTON firması tarafından İstanbul’da yapılmıştır. Şekil 3.7’de ve Şekil 3.8’te görsellerine yer verilmiştir.

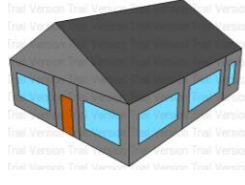
Design Builder programında modellenen binalar mimari tipolojisi yönünden pencere/duvar oranları, uygulanacak çatı tip çeşitleri göz önüne alınmış ve üretiminde

kullanılacak beton türünün farklı tanımlanması ile 27 farklı tip bina tasarlanmıştır. 27 farklı tip bina Design Builder programında modellenmiş ve Isıtma Tasarımı (Heating Design) ve Soğutma tasarımı (Cooling Design) analizleri yapılmıştır. Analiz sonuçları excel tablolarına aktarılmış ve ısıtma ve soğutma için gerekli enerji miktarlarının karşılaştırılması yapılarak her iki açıdan da en az enerji ihtiyacı olan bina tipleri tespit edilmiştir. Tez çalışması özet anlatım görseline (Graphic Abstract) Şekil 1.4'te yer verilmiştir.

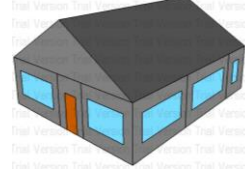




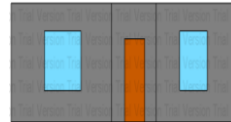
Düz çatı



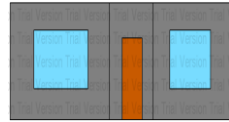
Beşik çatı 1



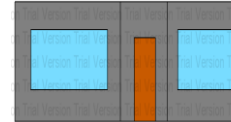
Beşik çatı 2



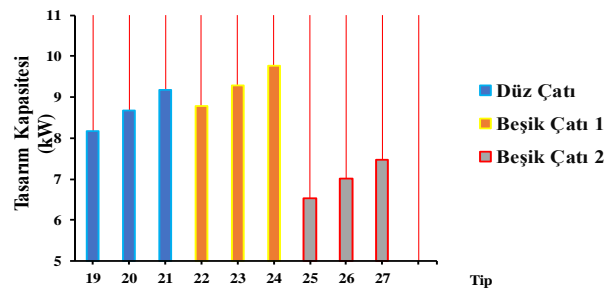
Pencere/Duvar oranı=%20



Pencere/Duvar oranı=%30



Pencere/Duvar oranı=%40



Design Builder programındaki analiz sonuçlarının karşılaştırılması

Şekil 1.4. Tez çalışması özet anlatımı (Graphic Abstract) (Yazar tarafından oluşturulmuştur)

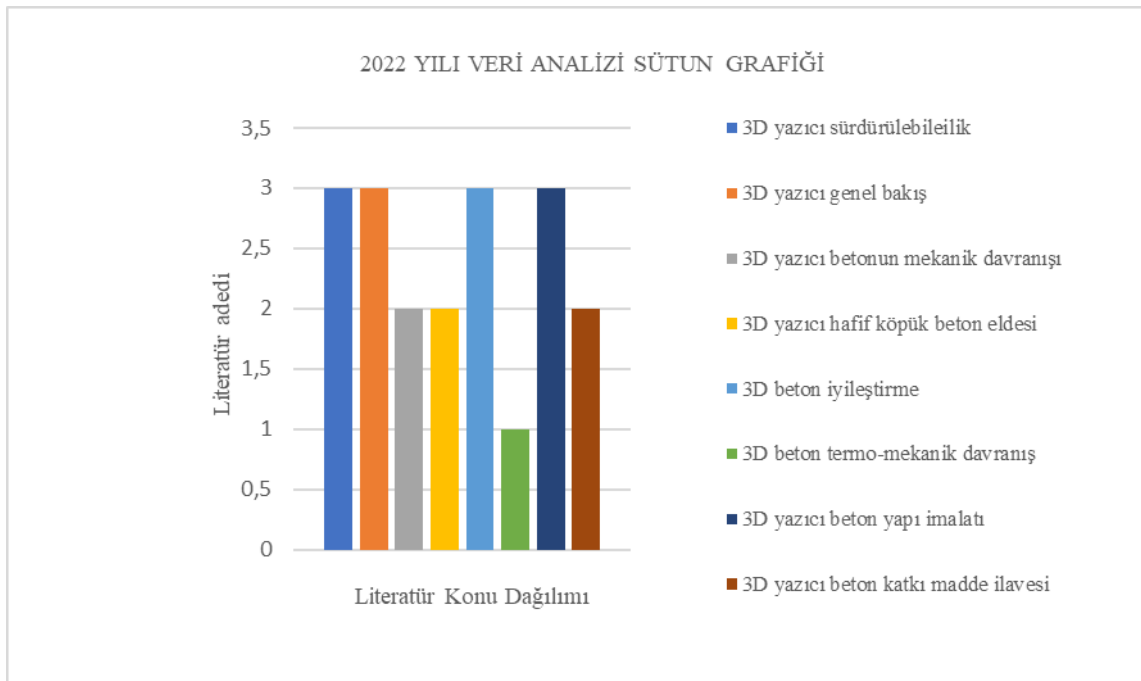
1.5. Kaynak Araştırması

1.5.1. 3D yazıcı beton teknolojisi alanında makale araştırması

Bu çalışma için, 3D baskı betonu teknolojisi alanında toplam olarak 2015-2022 yılları arasında yaklaşık 203 makale incelenerek araştırma konu alanları ayrı ayrı tespit edilmiş ve yıllar içerisinde konularına göre sınıflandırılma yapılmıştır. Yıllar içerisinde konu dağılımını göstermek amacıyla da veriler analiz edilmiştir. 3D beton yazıcı 2022 literatür taramalarının konulara göre dağılımı Çizelge 1.1’de, sütun grafiği Şekil 1.5’de; 2021 literatür taramalarının konulara göre dağılımı Çizelge 1.2’de, sütun grafiği Şekil 1.6’de; 3D beton yazıcı 2020 literatür taramalarının konulara göre dağılımı Çizelge 1.3.’de, sütun grafiği Şekil 1.7’de; 3D beton yazıcı 2019 literatür taramalarının konulara göre dağılımı Çizelge 1.4’te, sütun grafiği Şekil 1.8’de; 3D beton yazıcı 2018 literatür taramalarının konulara göre dağılımı Çizelge 1.5.’te, sütun grafiği Şekil 1.9’da; 3D beton yazıcı 2017 literatür taramalarının konulara göre dağılımı Çizelge 1.6’da, sütun grafiği Şekil 1.10’da; 3D beton yazıcı 2016 literatür taramalarının konulara göre dağılımı Çizelge 1.7’de, sütun grafiği Şekil 1.11’de; 3D beton yazıcı 2015 literatür taramalarının konulara göre dağılımı Çizelge 1.8’de, sütun grafiği Şekil 1.12’de verilmiştir. Yapılan çalışma sonucunda 3D baskı beton teknoloji alanında 2015-2022’a kadar araştırmaların sayısının arttığı ve çeşitli konularda çalışmaların yapıldığı sonucuna varılmıştır.

Çizelge 1.1. 3D beton yazıcı 2022 literatür taramalarının konulara göre dağılımı (Yazar tarafından oluşturulmuştur.)

	Literatür konusu	2022
1	3D yazıcı sürdürülebilirlik	3
2	3D yazıcı genel bakış	3
3	3D yazıcı mekanik davranışı	2
4	3D yazıcı hafif köpük beton eldesi	2
5	3D yazıcı beton iyileştirme	3
6	3D yazıcı beton termo-mekanik davranış	1
7	3D yazıcı beton yapı imalatı	3
8	3D yazıcı beton katkı madde ilavesi	2

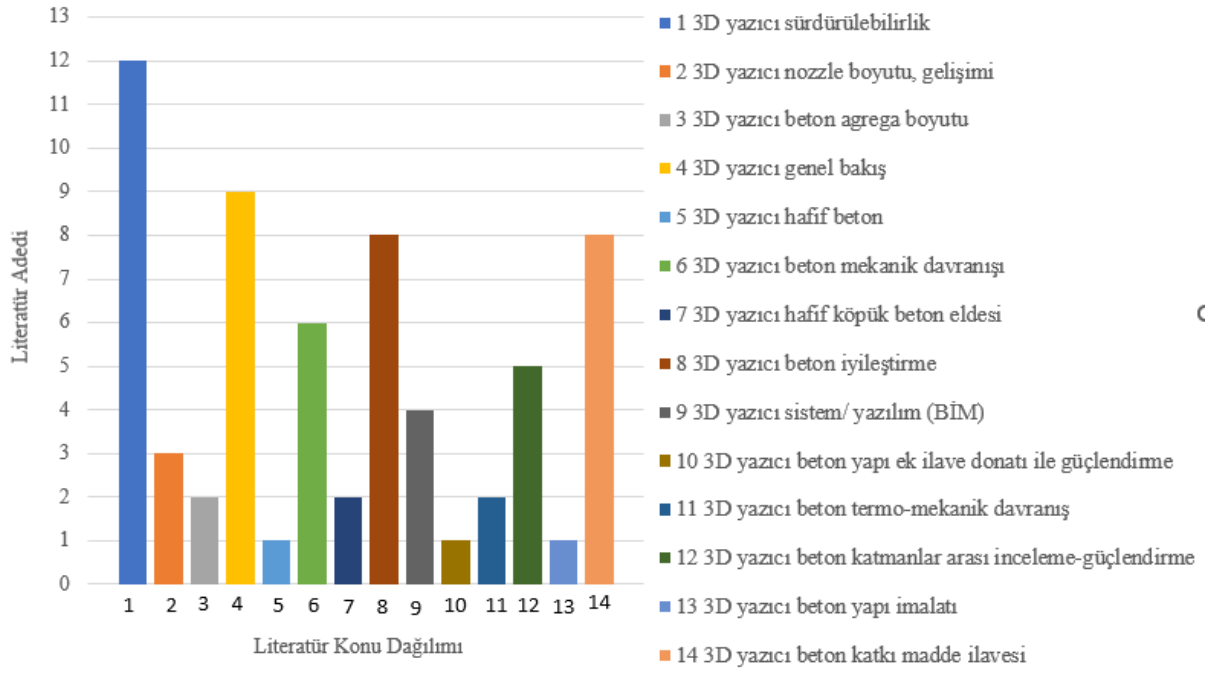


Şekil 1.5. 3D beton yazıcı 2022 literatürlerinin konulara göre dağılımı sütun grafiği (Yazar tarafından oluşturulmuştur.)

Çizelge 1.2. 3D beton yazıcı 2021 literatür taramalarının konulara göre dağılımı (Yazar tarafından oluşturulmuştur.)

	Literatür Konusu	2021
1	3D yazıcı sürdürülebilirlik	12
2	3D yazıcı nozzle boyutu, gelişimi	3
3	3D yazıcı beton agrega boyutu	2
4	3D yazıcı genel bakış	9
5	3D yazıcı hafif beton	1
6	3D yazıcı beton mekanik davranışı	6
7	3D yazıcı hafif köpük beton eldesi	2
8	3D yazıcı beton iyileştirme	8
9	3D yazıcı sistem/ yazılım (BİM)	4
10	3D yazıcı beton yapı ek ilave donatı ile güçlendirme	1
11	3D yazıcı beton termo-mekanik davranış	2
12	3D yazıcı beton katmanlar arası inceleme-güçlendirme	5
13	3D yazıcı beton yapı imalatı	1
14	3D yazıcı beton katkı madde ilavesi	8

2021 YILI VERİ ANALİZİ SÜTUN GRAFİĞİ

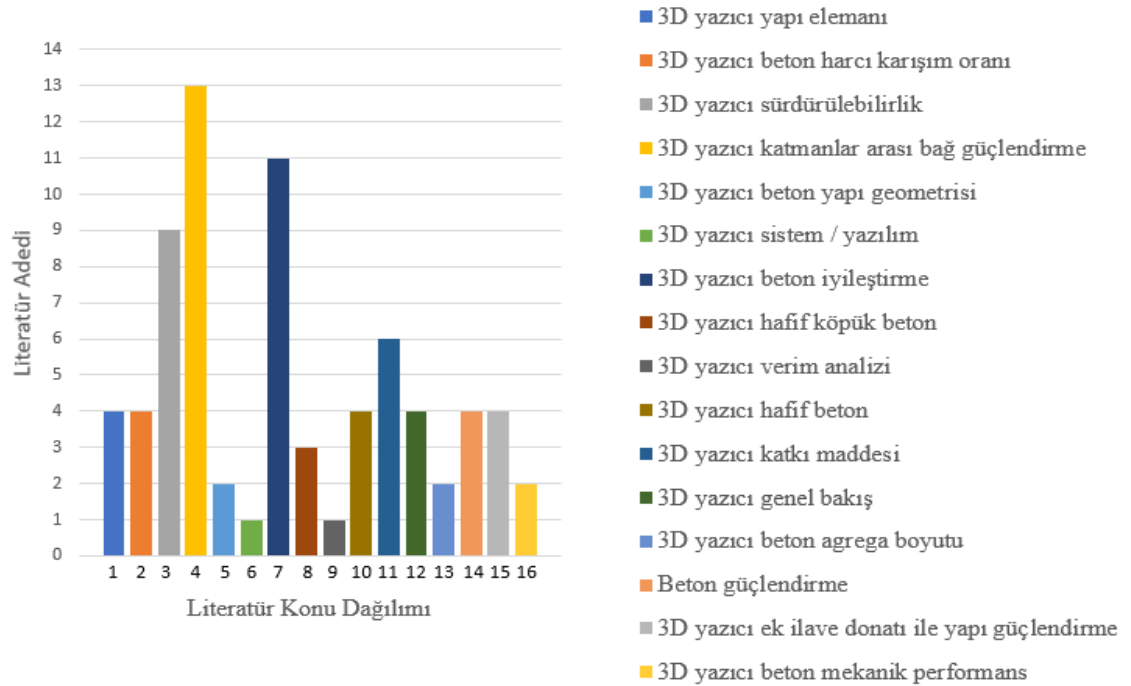


Şekil 1.6. 3D beton yazıcı 2021 literatürlerin konulara göre dağılımı sütun grafiği
(Yazar tarafından oluşturulmuştur.)

Çizelge 1.3. 3D beton yazıcı 2020 literatür taramalarının konulara göre dağılımı
(Yazar tarafından oluşturulmuştur.)

	Literatür Konusu	2020
1	3D yazıcı yapı elemanı	4
2	3D yazıcı beton harcı karışım oranı	4
3	3D yazıcı sürdürülebilirlik	9
4	3D yazıcı katmanlar arası bağ güçlendirme	13
5	3D yazıcı beton yapı geometrisi	2
6	3D yazıcı sistem / yazılım	1
7	3D yazıcı beton iyileştirme	11
8	3D yazıcı hafif köpük beton	3
9	3D yazıcı verim analizi	1
10	3D yazıcı hafif beton	4
11	3D yazıcı katkı maddesi	6
12	3D yazıcı genel bakış	4
13	3D yazıcı beton agrega boyutu	2
14	Beton güçlendirme	4
15	3D yazıcı ek ilave donatı ile yapı güçlendirme	4
16	3D yazıcı beton mekanik performans	2

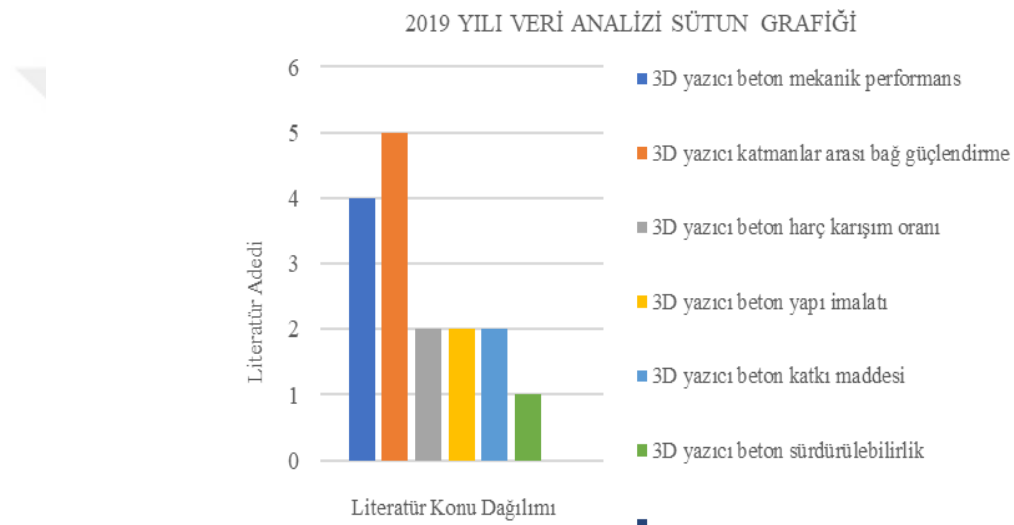
2020 YILI VERİ ANALİZİ SÜTUN GRAFİĞİ



Şekil 1.7. 3D beton yazıcı 2020 literatürlerinin konulara göre dağılımı sütun grafiği
(Yazar tarafından oluşturulmuştur.)

Çizelge 1.4. 3D beton yazıcı 2019 literatür taramalarının konulara göre dağılımı (Yazar tarafından oluşturulmuştur.)

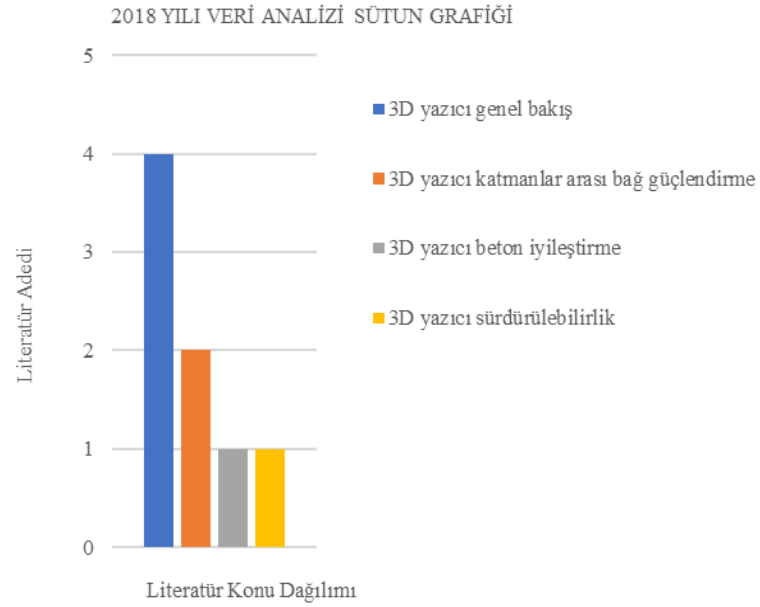
	Literatür Konusu	2019
1	3D yazıcı beton mekanik performans	4
2	3D yazıcı katmanlar arası bağ güçlendirme	5
3	3D yazıcı beton harç karışım oranı	2
4	3D yazıcı beton yapı imalatı	2
6	3D yazıcı beton katkı maddesi	2
7	3D yazıcı beton sürdürülebilirlik	1



Şekil 1.8. 3D beton yazıcı 2019 literatürlerin konulara göre dağılımı sütun grafiği (Yazar tarafından oluşturulmuştur.)

Çizelge 1.5. 3D beton yazıcı 2018 literatür taramalarının konulara göre dağılımı (Yazar tarafından oluşturulmuştur.)

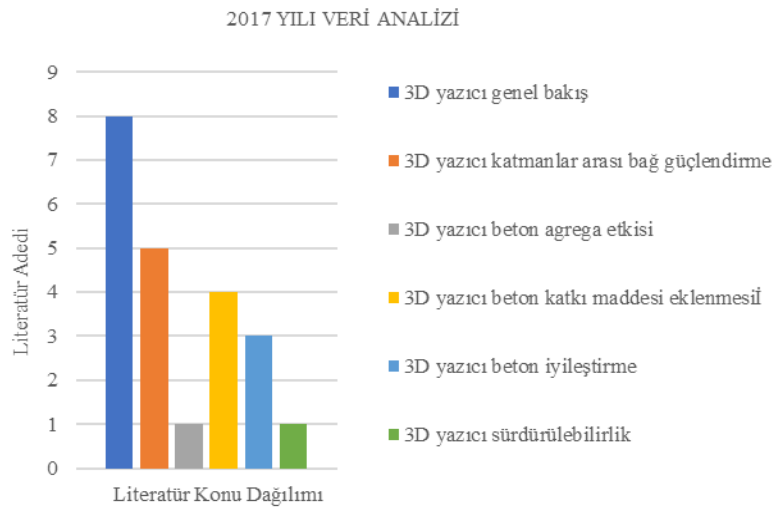
	Literatür Konusu	2018
1	3D yazıcı genel bakış	4
2	3D yazıcı katmanlar arası bağ güçlendirme	2
3	3D yazıcı beton iyileştirme	1
4	3D yazıcı sürdürülebilirlik	1



Şekil 1.9. 3D beton yazıcı 2018 literatürlerin konulara göre dağılımı sütun grafiği (Yazar tarafından oluşturulmuştur.)

Çizelge 1.6. 3D beton yazıcı 2017 literatür taramalarının konulara göre dağılımı (Yazar tarafından oluşturulmuştur.)

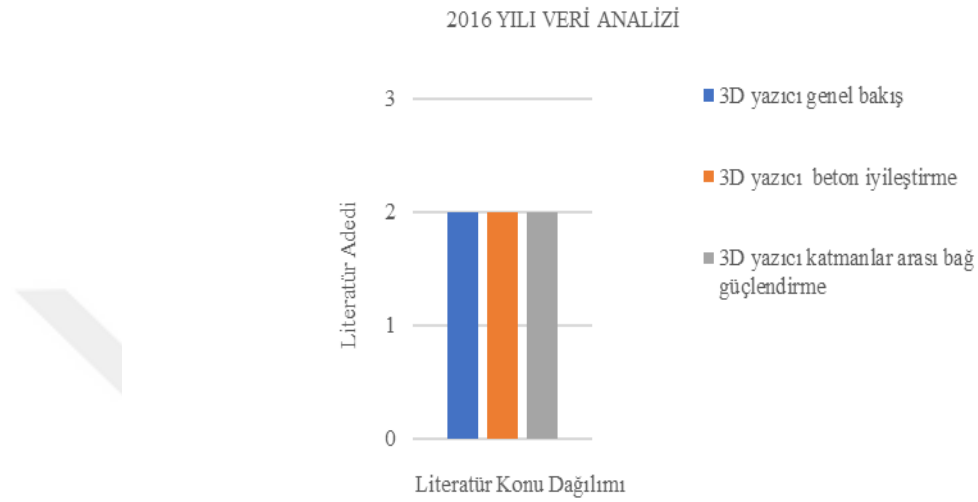
	Literatür Konusu	2017
1	3D yazıcı genel bakış	8
2	3D yazıcı katmanlar arası bağ güçlendirme	5
3	3D yazıcı beton agrega etkisi	1
4	3D yazıcı beton katkı maddesi eklenmesi	4
5	3D yazıcı beton iyileştirme	3
6	3D yazıcı sürdürülebilirlik	1



Şekil 1.10. 3D beton yazıcı 2017 literatürlerin konulara göre dağılımı sütun grafiği (Yazar tarafından oluşturulmuştur.)

Çizelge 1.7. 3D beton yazıcı 2016 literatür taramalarının konulara göre dağılımı (Yazar tarafından oluşturulmuştur.)

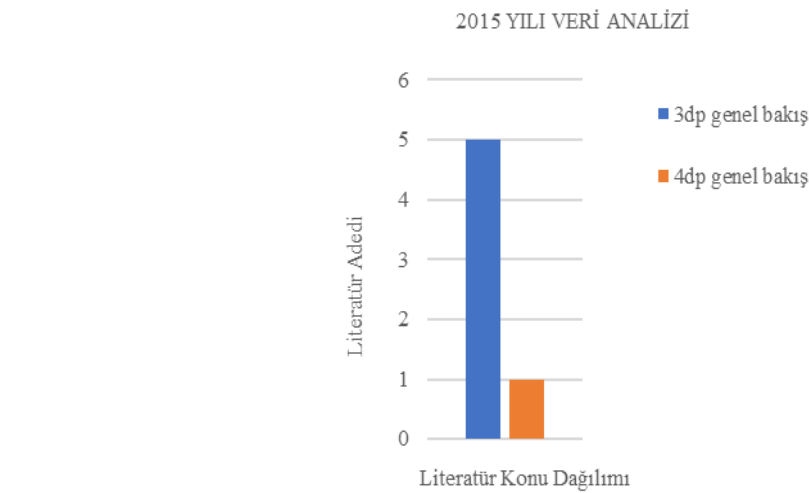
	Literatür Konusu	2016
1	3D yazıcı genel bakış	2
2	3D yazıcı beton iyileştirme	2
3	3D yazıcı katmanlar arası bağ güçlendirme	2



Şekil 1.11. 3D beton yazıcı 2016 literatürlerin konulara göre dağılımı sütün grafiği (Yazar tarafından oluşturulmuştur.)

Çizelge 1.8. 3D beton yazıcı 2015 literatür taramalarının konulara göre dağılımı (Yazar tarafından oluşturulmuştur.)

	Literatür Konusu	2015
1	3dp genel bakış	5
2	4dp genel bakış	1



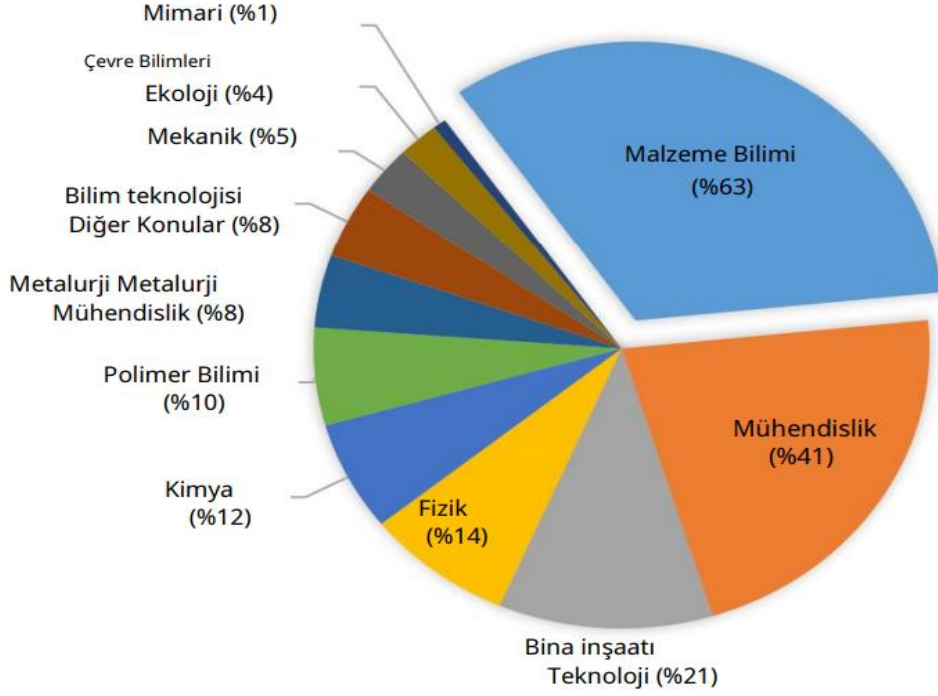
Şekil 1.12. 3D beton yazıcı 2015 literatürlerin konulara göre dağılımı sütün grafiği (Yazar tarafından oluşturulmuştur)

Yapılan bu kapsamlı literatür taramasında incelenen 203 makalede 3D yazıcı beton kapsamında yapılan çalışmalar birçok konu alanında yapılmıştır. Ele alınan konular, 3D yazıcı teknolojisi ile imalat edilen yapı elemanları, baskı betonunda kullanılan harç karışım oranı, oluşturulan duvarların katmanları arasındaki bağı güçlendirme ve güçlendirme için ek ilave donatı eklenmesi alanında, 3D yazıcı teknolojisi ile oluşturulan yapıların geometrisi alanında, yazıcı sistemlerinin yazılımı, baskı betonun iyileştirilmesi, hafif köpük betonu eldesi, baskı betonu karışımına katkı maddesi eklenmesi ve karışımda kullanılacak beton agrega boyutu, baskı betonunu güçlendirme alanında, 3D yazıcı beton baskı alanına genel bakış ve sürdürülebilirlik gibi birçok alanda araştırma olduğu tespit edilmiş ve kapsamlı literatür taramasında her makale ayrı ayrı incelenerek konu alanlarında göre sınıflandırılmıştır.

2022 yılında 3D yazıcı beton alanında yapılan çalışmalar arasında en çok sürdürülebilirlik, yapı elemanları imalatı, baskı betonunun iyileştirmesi ve 3D yazıcı teknolojisine genel bakış alanında yapılan çalışmalara öncelik verilmiştir. 2021 yılında, kapsamlı literatür taramasında yıllara göre dağılımına bakıldığında, bu yılda 3D yazıcı teknolojisi alanında 64 makale araştırması yapıldığı tespit edilebilir. Yapılan araştırma çalışmalarının konu dağılımına bakıldığında en çok sürdürülebilirlik altında çalışmalara yer verildiği sonucuna varılır. 2020 yılında, 3D yazıcı beton baskı teknolojisi alanında yapılan çalışmalar diğer yıllarda yapılan çalışmalara kıyasla en çok bu yılda yer aldığı söylenebilir. Yapılan çalışmaların konu dağılımına bakıldığında ağırlıklı olarak 3D yazıcı baskı betonunun katmanları arasındaki bağı güçlendirme ve baskı betonunun iyileştirmesi alanında yapılan çalışmalara ağırlık verilmiştir. 2015-2018 yılları arasında yapılan 3D yazıcı teknolojisi alanında yapılan çalışmaları sayısı diğer yıllara kıyasla azdır. Bu durum son 5 yılda 3D yazıcı alanında yapılan çalışmalara ağırlık verildiği tespit edilebilir.

Yukarıda bahsedilen çalışmanın bir benzeri Top ve Ayçam (2023) tarafından yapılmıştır. Yazarlar çalışmalarında inşaat sektöründe 3D baskı teknolojilerinde kullanılan malzemenin gelişimini ve endüstri ve bilim camiasında gelecekteki araştırmalarını anlamak için dünyada 3D yazıcı teknolojisiyle üretilen 25 bina uygulamasını incelemiş olup Çizelge 1.9 ve Çizelge 1.10'da bu binalara ait açıklama ve görsellere yer verilmiştir. Ayrıca Top ve Ayçam (2023) Web of Science'den belirtilen konuya dair 74 araştırma yayını da incelemişlerdir. Bu yayınların malzeme bilimi ve mühendislik dahil olmak üzere 11 ana araştırma alanından oluştuğunu tespit etmişlerdir.

Bu araştırma alanlarının konulara göre yüzdesel olarak dağılımına daire grafiği olarak Şekil 1.13'te yer verilmiştir.
















Şekil 1.13. 74 araştırma yayınının konularına göre daire grafiği (Top ve Ayçam, 2023)

Çizelge 1.9. 3D yazıcı teknoloji ile üretilen yapısal uygulamalar (Top ve Ayçam, 2023)

	PROJE GÖRSELİ	PROJE	YER, YIL	İŞLEV	MALZEME	REFERANS
1		3DP Apartman Binası	Çin, 2014 Winsun	Ev	Beton	URL 1
2		3DP Kalesi	ABD, 2014	Kale	Beton	URL 2
3		Apis Kor Evi	Rusya, 2016	Ev	Beton	URL 3
4		Kripton Karakolu	Fransa, 2016	Sütun/Yapı	Beton	URL 4
5		Kentsel Kabin	Hollanda, 2016	Ev	Biyoplastik	URL 5
6		BOD (Avrupa'nın ilk 3D yazıcı ile yapılan binası)	Danimarka, 2017	Ofis	Beton	URL 6
7		3DP Yaya Köprüsü	İspanya, 2017	Köprü	Beton	URL 7
8		3DP Bisiklet Köprüsü	Hollanda, 2017	Köprü	Beton	URL 8
9		3B Stüdyo 2030	Suudi Arabistan, 2017	Ev	Beton	URL 9
10		Milano'daki 3DP Evi	İtalya, 2018	Ev	Beton	URL 10, URL 11
11		Chicon Evi	ABD, 2018	Ev	Beton	URL 12
12		Gaia Evi	İtalya, 2018	Ev	Kil	URL 13

Çizelge 1.10. 3D yazıcı teknolojisi ile üretilen yapısal uygulamalar (Top ve Ayçam, 2023)

	3D baskılı topluluk	Meksika, 2020	Ev	Beton	URL 14, URL 15
	KampC Evi	Belçika, 2020	Ev	Beton	URL 16
	Prvok	Çek Cumhuriyeti, 2020	Ev	Beton	URL 17
	3DP Evi	ABD, 2021	Ev	Beton	URL 18, URL 19
	Tecla	İtalya, 2021	Ev	Kil	URL 20
	Milestone Projesi	Hollanda, 2021	Ev	Beton	URL 21
	3DP Evi	ABD, 2021	Ev	Beton	URL 22
	Beckum Evi	Almanya, 2021	Ev	Beton	URL 23
	Ev Zero	ABD, 2022	Ev	Beton	URL 24
	Hint Ordusu Evi	Hindistan, 2022	Ev	Beton	URL 25
	3D Baskılı Ofis	Avusturya, 2022	Ofis	Beton	URL 26
	3DP Evi	Borneo, 2022	Ev	Beton	URL 27
	Viliaprint	Fransa, 2022	Ev	Beton	URL 28

1.5.2. Enerji verimliliği alanında yapılan çalışmalar

Binalarda ısı konforu sağlayarak enerji tüketimini minimum düzeye inmesini sağlayan yapı stratejilerini ve geleneksel yapı tekniklerini inceleyen bazı araştırmalara aşağıda yer verilmiştir.

1.5.2.1. Doğal havalandırmaya yönelik pasif soğutma stratejileri

Enerji etkin yapılar ile yapıda yaşayan insanların yaşam konfor kalitelerini yükseltmeyi, ısıtma, soğutma ve aydınlatma için tüketilen enerji tüketim miktarlarını (elektrik, doğalgaz vb.) azalmayı hedeflenmektedir. Birleşmiş Milletler (1991) enerji etkin binaları, minimum enerji girişi miktarlarına sahip yapılar olarak tanımlamaktadır. Janssen (2004)'çalışmasında enerji verimliliğinde yaşanacak bir iyileştirmenin, sağlanan hizmet seviyesini etkilemeden, üretim birimi başına enerji tüketim miktarlarını minimum düzeye indiren ve üretici veya enerji ürünlerini kullanan kişiler tarafından gerçekleştirilen herhangi bir işlem olarak kabul edildiğini öne sürmektedir (Janssen, 2004). Binalarda enerjinin en fazla harcandığı konulardan yapının ısıtılması ve soğutulması ilk sıralarında gelmektedir. İki konu için de mimari tasarım sırasında alınabilecek önlemler bulunmaktadır. Bu önlemler içinde “pasif soğutma/havalandırma”, enerji harcama seviyesini düşürürken, oda ısı konforunu iyileştirmek için yapıdaki ısı kazancı kontrolü ve ısı kaybı en önemli faktörlerdir (Domi, 2018). Doğal soğutma sadece yapının mimari tasarımına değil, ayrıca ısıyı düşürmek için mekanik sistemler haricinde doğal havalandırmadan yararlanan yerleşim yerlerinin iklimsel döngüne de bağımlıdır (Kanagaraj ve Mahalingam, 2011). Bu sebeple bu çalışmada binanın konumlandırılmasına, gölgelik kullanılmasına ve avlu gibi ısı konforu artırmaya yardımcı olabilecek farklı stratejiler deneyerek performans yükseltici çalışmalar yapmayı hedeflenmiştir.

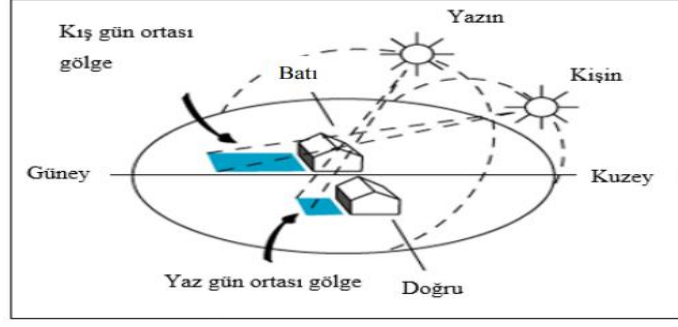
1.5.2.2. Doğal havalandırmaya yönelik pasif soğutma stratejileri

Yerleşim konumunun belirlenmesi, keşfi ve hazırlanması pasif tasarım stratejilerinin başında yer almaktadır. Aynı zamanda güneş enerjisi, hava hareketleri, sıcaklık farklılıkları ve bitki örtüsü gibi enerji kaynağı olarak faydalanabilecek farklı etkenler diğer safhalardaki inşaat çalışmalarında da önemli bir katkı sağlamaktadır. Garde ve ark. (2004) çalışmasına göre konu enerji harcaması ve yaşamın korunması olduğunda, doğal hava tahliyesi imkânları, doğal gölgelik (bitki örtüsü), bina yüzeyinin rüzgârla soğutulması ve belirli yaklaşımların kullanılmasındaki kısıtlamalar, tasarımcıların enerji tüketimi ve yaşamı koruma konusunda maksimum verimlilik

sağlamalarına katkı sağlamaktadır. Bu çalışma doğrultusunda yapılacak tez çalışmasında doğal hava tahliyesi, doğal gölgelik (bitki örtüsü), bina yüzeyinin rüzgârla soğutulması gibi faktörleri Design Builder'da yapı tasarlarken ön planda tutarak modellenmiştir (Garde ve ark., 2004). Soysal (2008) çalışmasında güneş enerjisi ve rüzgâr/hava hareketi gibi pasif tasarım kriterleri yapıların çevresindeki boşluk alanlar, aralarındaki mesafe, yükseklik ve birbirlerine göre konumları dikkate alınarak mimari tasarımında önemli etkenler olup binalar birbirleri için güneş enerjisi ve rüzgâr kesici görevi görebilirliğine değinilmiştir. Bu sebeple, pasif soğutma ve güneş enerjisinin etkisiyle ısıtmadaki iklimlendirmenin yapılar arasındaki açık alanların yansıttığı bir faktör olduğu varsayılmıştır (Sosyal, 2008). Ayrıca rüzgâr hızına bağlı olarak, hâkim rüzgârlar yönündeki bina boşlukları, yapının arkasında oluşan izlerin bina yüzeyinde oluşacak ısı kayıpları doğrultusunda dağılımı göz önüne alındığına değinilmiştir.

1.5.2.3. Binanın konumlandırılması

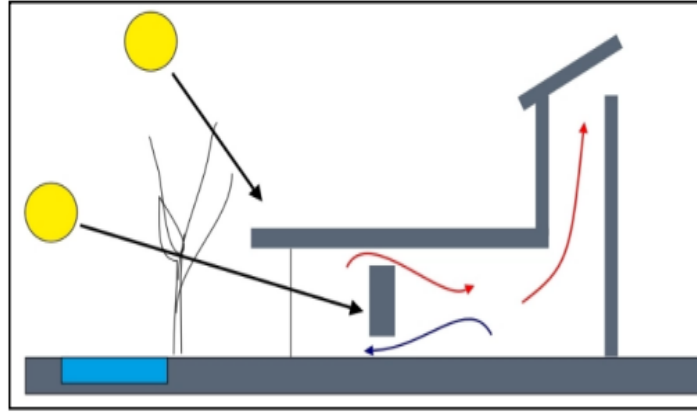
Cheung ve Fuller (2005) çalışmasında binanın güneşe doğru ve rüzgâr yönüne doğru konumlandırmaya ne kadar dikkat edilirse, o derece enerji etkin bir yapı oluşturulabileceği kanısına varılmıştır. Ayrıca odaların kullanım amacı ve kullanım sürelerinin, evdeki alanın düzenlenmesinde önemli bir etken olduğuna değinilmiştir. Bu çalışma doğrultusunda tez çalışmasında yapının tasarımı esnasında güneşe ve rüzgâr yönüne doğru konumlandırmaya özen gösterilerek enerji verimliliğini en üst seviyede sağlanması hedeflenmektedir. Yine bu çalışmada göre faydalı bir konumlandırma ısıtma ve soğutmanın desteklenmesi için gereken enerji ihtiyacı düşürdüğüne ve bu sayede enerji harcama seviyesini de en aza indirilmiş olacağına değinilmiştir. Güneş etkeni göz önüne alındığında, binaların optimum uzanım doğrultusunun Doğu-Batı cephesi olduğu kanısına varılmıştır. Binalar boylamasına Doğu-Batı ekseninde, enlemesine ise Kuzey-Güney eksenini boyunca konumlanması gerektiğine ve binanın Güney tarafına bakan duvarlar kış aylarında güneş ışınlarını absorbe edeceğine ayrıca çok sıcak seyreden yaz aylarında güneşin etkilerini düşürmek için nispeten küçük saçak benzeri gölgelendirme tekniklerinden yararlanılabileceği öne sürülmektedir. Bu sebeple yapılacak çalışmada bu cephelere denk gelen yüzeylerin güneş ışınlarına daha az etkilenmesi için ağaçlardan faydalanarak cephenin gölgesinde kalmasını tercih edilecektir. Ayrıca Cheung ve Fuller (2005) çalışmasındaki gibi pencerelerinin konumuna, mimari açıdan dış duvarlarda yer alan pencerelerin diğerlerine göre küçük ve doğrudan ışınım ve parlama yapmayacak şekilde tasarlanmasına özen gösterilecektir (Cheung ve Fuller, 2005).



Şekil 1.16. Binanın konumlandırılması (Haphoo, 2018)

1.5.2.4. Doğal havalandırma

Doğal havalandırma, dikey ve yatay hava basıncı arasında fark açığa çıktığı zamanlarda meydana gelmektedir. Basınçlar arasında görülen bu farklar ise rüzgâr ve sıcaklıklar arasında oluşan farklardan kaynaklanır. Raecissi ve Taheri (1998) çalışmasında gün ortasında ısı çok hızlı bir şekilde yükseldiği için, aşırı sıcak bölgelerde yaşam oldukça zorlaştığına bu nedenle, iyi tasarlanmış bir binanın temel özelliği, dış ortam sıcaklarının altında seyreden bir iç mekân sıcaklığına sahip bir yapıda olması gerektiğine değinilmiştir. Şekil 1.17’de gösterildiği gibi iyi tasarlanmış binalarda, bina sakinleri herhangi bir enerji kullanmadan bile, bina içindeki havayı doğal havalandırma olarak kullanıp konforu elde edebileceğine değinilmiştir.



Şekil 1.17. Doğal havalandırma (Designingbuildings, 2021)

1.5.2.5. Bina kabuğu

Bina kabuğunun mimari tasarımı, enerji tasarrufu yapmaya ve optimum konfora ulaşmaya yardımcı olabilecek ve yapı formu ile kullanılan malzemelerin birbiriyle entegrasyonudur. Isı enerjisi binalara çoğunlukla çatı, duvar, pencere ve zemin gibi yüzeylerden girer ve çıkar, odaların, kapıların ve iç duvarların düzeninden de etkilenebilir. Bina kabuğu açısından yapılan birkaç çalışmaya aşağıda yer verilmiştir.

Cheung ve Fuller'in 2005 yılında yaptıkları bir çalışmada, yüksek binalardaki soğutma enerjisini minimum düzeye indirmek için geliştirilmiş bir bina kabuğu tasarımını öne sürmüş yıllık soğutma miktarının, dış yüzeylerin güneş absorbesi ile doğrusal bir ilişki olduğunu gözlemlemişlerdir.

Suntharalingam ve ark. (2021), 3D Baskılı Beton Duvarların Enerji Performansı: Sayısal Bir Çalışma adlı çalışmada da bina kabuğunu oluşturan duvarların ısı karakterizasyonu üzerinde bir çalışma yapmışlardır. Çalışmada 3D beton yazıcı ile üretilen farklı duvar tipleri ele alınmışlar ve bu duvar tipleri; kalınlık, örgü şematizesi ve bu örgü şematize sebebiyle oluşan duvar iç boşluklarında yalıtım malzemesi yerleştirilmesi veya yerleştirilmemesi gibi farklı kombinasyonlarla 32 farklı 3DPC duvar konfigürasyonu oluşturmuşlardır. 3D yazıcı beton duvar konfigürasyonlarının enerji performansları deneysel olarak incelenmiş toplam ısı transfer katsayısı (U-değeri) değerleri sayısal sonuçlarla kanıtlanmışlardır. Bu çalışmaya benzer bir çalışma Wang ve ark. 2020 yılında yapmışlardır. Wang ve ark. 3D yazıcı basılabilirlik konusu kapsamında hafif seramik kumu ile silis kumu arasında farklı yer değiştirme oranları içeren beş beton karışımı ele almışlardır. Ayrıca büzülme ve mikro yarılmaları azaltmak için seramik kumları polivinil alkol ile kaplamışlardır. Bu beton karışımları ile dört farklı tipte içi boş yapıya sahip kübik ve kiriş elemanları modellemişler ve 3D yazıcı ile bu elemanları basmışlardır. Elemanların iç yapıları, hücre biçimli yapı, kafes biçimli yapı, kare topolojili kafes biçimli yapı ve ayrıca üçgen topolojili ızgara biçimli yapı olmak üzere farklı konfigürasyonlar ele almışlardır. Ardından 3D yazıcı ile oluşturdukları kübik numuneler üzerine sıkıştırma testleri ve kiriş numuneler üzerine de dört nokta feksural eğme testleri yaparak mekanik kapasitelerini ölçmüşlerdir. Sonuç olarak dikdörtgen kafes içi boş yapının sıkıştırmaya karşı en iyi mekanik direnci gösterdiğini ve kafes şeklindeki prizma yapısının ise en yüksek feksural özellikleri sağladığı sonucuna ulaşmışlardır.

Mahdi ve ark. (2022) çalışmalarında, 3D yazıcı teknolojisi ile kullanılarak yapılacak yapıların beton karışımlarında reaktif magnezyum oksit çimento ve kalsiyum sülföalüminat çimentosu olmak üzere iki farklı tipi ele almışlardır. Yalıtım malzemesi de kullanarak binanın enerji performansını araştırmışlardır. Bu iki beton tipi üzerinde bir yaşam döngüsü değerlendirmesi yapmışlardır. Değerlendirme sonuçları ile Portland çimentosu kullanılan betonla karşılaştırmışlardır. Karşılaştırma sonucunda reaktif magnezyum oksit çimento kullanımının enerji tasarrufu ve atık açısından kalsiyum sülföalüminat çimentosuna göre daha çok etkili olduğuna ulaşmışlardır. Yaşam döngüsü değerlendirmesine göre Portland çimentosu yerine kalsiyum sülföalüminat ve reaktif magnezyum oksit çimentosu kullanılarak bir binanın inşa edilmesinin karbondioksit emisyonlarını 400 kat azalttığını tespit etmişlerdir. Ayrıca bu çalışma ile 3D baskılı bir binada iki tip çimento kullanımının ve farklı senaryolar kullanılması yönünden binanın ısı yükünün hesaplanmasını amaçlamışlardır. Oluşturulan bina modellerini analiz etmek için Design Builder yazılımı kullanılan programını kullanmış ve sonunda, Sima-Pro yazılımı ile de bu iki tip beton ve Portland çimentosu ile yapılan beton için bir yaşam döngüsü değerlendirmesi gerçekleştirmişlerdir.

Yawen ve ark. (2020) çalışmalarında, 3D yazıcı beton teknolojisi ile inşa edilen binaların ısı performansını ve enerji tasarrufu potansiyelini ölçmek için, farklı duvar konfigürasyonlara ve kaplamalara sahip iki ticari yapının enerji analizleri yapmışlardır. Ayrıca yaz ve kış hava koşullarında bitki örtüsü tabakasının binaya artı yalıtım etkisi yapacağı düşünmüşlerdir. Bu sebeple binaların duvarının yeşil cepheler ve yaşayan duvar sistemlerinden oluştuğunu varsaymışlardır. Yeşil bitki örtüsü bulduran duvarların ek yer kaplamaması ve mevcut yapıların yanı sıra çoğu yeni yapıya kolayca entegre edilebilmesi nedeniyle binalar için en uygun yeşillendirme seçeneklerinden biri olarak kabul etmişlerdir. Diğer ticari binanın da geleneksel inşaat yöntemi ile inşaat edilen gaz beton duvarlardan oluştuğu varsaymışlardır.

Nazar ve ark. (2022) çalışmalarında, yalıtımlı modellerle hava boşluğu 3D yazıcı teknolojisi ile imal edilecek binaların bina kaplamalarının enerji verimliliği operasyonel karbon emisyonunu ve ısı konforunu karşılaştırmışlardır. Genişletilmiş polistiren, ekstrüde polistiren, poliüretan köpük ve cam elyafı olmak üzere dört yalıtım türü kullanılarak 4 farklı tip duvar modele ele alınmıştır. Yapılan literatür çalışmasında üç farklı 3D yazıcı betonu karışımı ele alınarak ortaya çıkan kombinasyon sonrasında oluşturulan bina modelleri Design Builder programında analiz edilerek ortaya çıkan

performansları rapor edilmişlerdir. Sonuçları incelediklerinde yalıtımın 3D yazıcı beton yapılarının genel çevresel performansını önemli ölçüde artırdığı kanısına varmışlardır.

Moelich (2022) 'Design Builder kullanılarak 3DPC bina cephelerindeki boşlukların ısı performansını' adlı çalışmasında Güney Afrika'daki Kalkınma Programı Yeniden Yapılanma ve Geliştirme adı altında RDP binaları kapsam altına almıştır. Tipik RDP binalarının işçilik ve zaman açısından verimsiz olan geleneksel duvarcılık yöntemleri kullanılarak inşa edildiğini ve yaşam koşullarına uygun ısı konforu içermediğini savunmuştur. Bu yüzden yaşam koşullarını iyileştirmek için yapılacak olan binaların 3D beton yazıcı ile yapılması gerektiğini öne sürmüştür ve bu alanda çalışmasını devam ettirmiştir. 3D beton yazıcı ile yapılacak olan binaların ısı performansını iyileştirmek ve binaların yapımında kullanılacak duvar tipinin tespiti için Design Builder programını kullanmıştır.

2. KAVRAMSAL ALTYAPI

Çalışmanın bu bölümünde sırasıyla 3D yazıcıların kullanım alanlarına, 3D Beton, Konfor Sıcaklığı (°C), Isıtma Tasarımı (Heating Design), Soğutma Tasarımı (Cooling Design) konularına değinilerek tez kapsamındaki kavramsal bilgiler verilmiştir.

2.1. 3D Yazıcıların Kullanım Alanları

3D yazıcılar mühendislik, mimarlık, otomotiv, tıp ve medikal, havacılıkta, eğitimde, kuyumculuk ve inşaat alanlarında kullanılmaktadır. Bu alanlar sırasıyla aşağıda özetlenmiştir.

2.1.1. Mühendislikte 3D yazıcı kullanımı

Mühendislik ve Ar-GE şirketleri için 3 boyutlu yazıcılar büyük önem arz etmektedir. Sektörde parçası olmayan veya bulunması zor olan ürünlerin en kısa sürede ve en az maliyetle üretilebilmesi büyük avantaj sağlamaktadır. Ayrıca yeni fikirlerin gerçeğe dönüştürülmesi ve özel birleşimli ürünlerin seri üretime geçilmeden önce prototipin üretilmesi, üretim sonrasında ürünlerin hataları varsa düzeltilebilmesi de mühendislik alanında 3 boyutlu yazıcı kullanımını arttırmaktadır.



Şekil 2.1. Mühendislikte 3D Yazıcı Kullanımı (URL 29)

2.1.2. Mimarlıkta 3D yazıcı kullanımı

3D yazıcılardan önce, mimarların tasarımlarını 3 boyutlu göstermek amacıyla kullandığı konsept modelleri üretmek oldukça zor ve zaman almaktadır. Büyük çaplı ve hizmete hitap eden tasarımlar konusunda da 3D yazıcılar hayatımızda yer almaya başlamıştır. San Francisco temelli bir şirketin; 3D yazıcılar kullanarak 640 metrekarelik ve 9,5 metre yüksekliğinde bir bina inşa etmiştir. Görüldüğü gibi 3D yazıcılar, gelecekte inşaat sektörünün yönünü değiştirecek bir potansiyele sahiptir.



Şekil 2.2. Mimarlıkta 3D Yazıcı Kullanımı (URL 29)

2.1.3. Otomotiv sektöründe 3D yazıcı kullanımı

Dünya devi araba üretim firmalarının da başvurduğu teknoloji, 3D yazıcı olmaktadır. Otomotiv sektöründe çeşitli amaçlarla 3 boyutlu yazıcılar kullanılabilir. Örnek olarak; Honda markası, üretilen arabanın far, kumanda paneli gibi bazı parçalarını 3D yazıcı teknolojisi ile üretmektedir. Audi ise diğer markaların da sıklıkla başvurduğu yöntem olan yedek parça üretimini 3D yazıcı ile yapmaktadır.



Şekil 2.3. Otomotiv Sektöründe 3D Yazıcı Kullanımı (URL 29)

2.1.4. Tıpta ve medikalde 3D yazıcı kullanımı

Sağlık sektöründe de 3 boyutlu yazıcılardan faydalanılmaktadır. İlk olarak 2011 yılında, soluk borusunda çökme tespit edilen bir bebeğe, 3D yazıcı ile soluk borusu implantı üretilebildi. Umutsuz bir durumda bebeğin yaşamasına olanak sağlayan bu icat, medikal alanda 3D yazıcı teknolojisi kullanımı arttırmıştır. 2011 yılında 3 boyutlu yazıcı ile ilk gerçek kemik üretilmiştir. Buna benzer olarak kalp kapakçığı, sentetik deri gibi birçok vücudumuza ait parçalar 3D yazılar ile üretilmiştir.



Şekil 2.4. Tıpta ve Medikalde 3D Yazıcı Kullanımı (URL 29)

2.1.5. Havacılıkta 3D yazıcı kullanımı

Uçak tasarımlarında prototip üretmek veya uçağın parçalarının üretilmesinde, 3 boyutlu yazıcı teknolojisi büyük bir avantaj olmuştur. Astronotların ihtiyaç duyabileceği malzemelerin imalatında da 3D yazıcılar kullanılmaktadır.



Şekil 2.5. Havacılıkta 3D Yazıcı Kullanımı (URL 29)

2.1.6. Eğitimde 3D yazıcı kullanımı

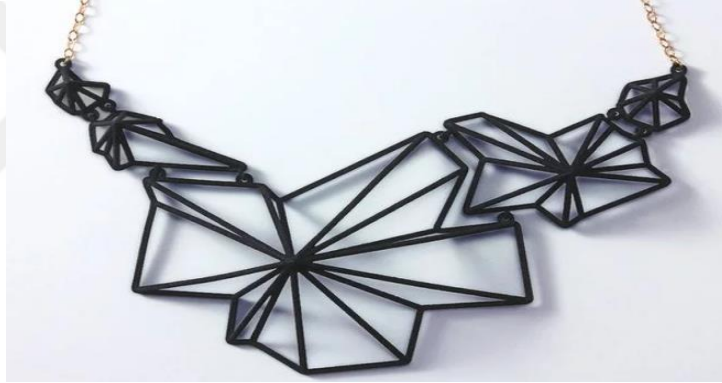
Eğitiminde nesnelerin ve düşüncelerin somutlaştırılmasında 3D yazıcı teknolojisi büyük bir önem arz etmektedir. Somutlaştırılan nesneler ve düşünceler ile öğretmenler ilgili konuyu daha anlaşılır bir şekilde bu teknoloji ile öğrencilere açıklayabilmektedir. Ayrıca kullanılan bu teknoloji ile öğrenciler teknolojiyi daha yakından takip edebilmekte ve yeniliklere açık genç bir nesil yetiştirilebilmektedir.



Şekil 2.6. Eğitimde 3D Yazıcı Kullanımı (URL 29)

2.1.7. Kuyumculuk ve aksesuar alanında 3D yazıcı kullanımı

3D yazıcılar takıların üretiminde, tasarım aşamasında somutlaştırmada büyük öneme sahiptir. Buna ek özgün ve kaliteli tasarımı insan eli değmeden üretimini çok kısa sürede tamamlanmaktadır.



Şekil 2.7. Kuyumculuk ve Aksesuar Alanında 3D Yazıcı Kullanım (URL 29)

2.1.8. İnşaat Mühendisliğinde 3D yazıcı kullanımı

İnşaat mühendisliğinde 3D yazıcılar, çeşitli inşaat malzemelerinin doğrudan kullanılarak baskı yoluyla yapı elemanlarının giydirilmesi kullanılır. Bu teknoloji, geleneksel inşaat yöntemlerine göre daha hızlı, daha hassas ve daha verimli bir üretim sağlar. Örneğin, 3D yazıcılarla yapılan yapı elemanları beton, ahşap, metal, cam elyafları ve hatta biyolojik malzemeler gibi birçok farklı malzeme türü kullanılarak üretilir. Bu yöntem, özellikle karmaşık ve karmaşık tasarımların araçlarında kullanışlıdır. 3D yazıcılarla üretilen yapı elemanları, geleneksel kullanım için karşılaştırma daha az işçilik gerektirir ve daha az malzeme atığı üretir. Ayrıca, 3D yazıcılarla üretilen yapı elemanları, daha az miktarda malzeme kullanılarak daha dayanıklı ve daha hafif ürünler üretilir.

Yapı sektörü teknolojik yenilikleri kullanarak doğal ortamı barınak olarak kullanma noktasından günümüzdeki yüksek teknoloji mühendislik harikası yapılara ulaşmıştır (Lipson ve ark., 2013). Diğer taraftan inşaat endüstrisi, kayda değer miktarda kaynak tüketen ve önemli çevresel baskılar yaratan bir endüstri olarak kabul edildiği için özellikle verimlilik, çevre ve diğer hususları iki şekilde ele alan inşaat inovasyonları üzerine çalışmalar yürütülmüştür (Peng ve ark.,2016).

21. Yüzyılda ise yapı sektörüne yeni bir teknoloji olan 3D baskı yazıcılar dahil olmuştur. İlk olarak Chuck Hull'un 1983 yılında icat ettiği katman kontrolüne sahip otomatik bir üretim prosesi olan 3-D baskı, son yıllarda hızlı bir gelişme göstermiştir. 3D baskı yazıcı ile otomatik yapı üretim teknolojisi, robotik temelli olup katmanlı bir üretim teknolojisidir (Kanagaraj ve ark.,2004).

Bu üretim teknolojisi, özel mimari tasarım elemanları ya da büyük ölçekli yapı elemanlarını kalıp kullanmaksızın katman şeklinde üretebilmeye olanak sağlamaktadır. Bir bileşenin geometrik karmaşıklığı 3D baskı yazıcıda önem taşımamakta ve üretim sürecine herhangi bir ek maliyet getirmemektedir. 3D baskı yazıcıda kullanılan harçta farklı malzemelerin kullanılabilmesi, kalıpsız serbest biçimli yapıların oluşturulması, daha az insan gücüne rağmen daha hızlı üretilebilmesi ve inşaat maliyetini azaltması katman bazlı üretim tekniğini konvansiyonel metoda göre avantajlı kılmaktadır. Ayrıca katmanlı yapı üretim teknolojisinde CO2 emisyonu ve enerji sarfiyatının da düşmesi nedeniyle inşaat endüstrisine önemli faydalar sağlayacağı öngörüldüğünden, 3D baskı yazıcılara yönelik bilimsel araştırmalar ve ticari faaliyetler gün geçtikçe artmaktadır (Le ve ark., 2012).

Bununla birlikte, inşaat sektöründe 3D baskı yazıcı uygulanmasına ilişkin araştırmaların henüz başlangıç aşamasında olduğu unutulmamalıdır. 3D yazıcının inşaat sektörüne getirebileceği potansiyelin tamamını keşfetmek için birçok yeni deneyler yapılmaya devam etmektedir. Ancak katmanlı yapı üretim teknolojisinde kullanılacak harcın özellikleri hakkında çalışmalar oldukça azdır. 3D baskı yazıcıda kısa sürede üst üste binen katmanlar şeklinde beton dökümü yapıldığı için beton harcın reolojik özellikleri çok önemli olmaktadır. Üst üste gelen katmanlar yıkılmadan durabilmeli ve harç katmanları birbirine kenetlenmelidir (De Koker ,2004).

2.2. 3D Beton

Betonun karışım tasarımı, taze ve sertleşmiş betonun performans gereksinimlerini karşılayacak şekilde yapılmalıdır. 3D yazıcılarda kullanılacak olan

betonların, geleneksel betonun performansına ek olarak, işlenebilirlik, çalışabilirlik süresi, ekstrüde edilebilirlik (pompalanabilirlik) ve katmanların kendi kendisini taşıyabilirlik (inşa edilebilirlik) gibi özelliklerine sahip olmalıdır. Ayrıca, standart taze beton özelliklerinden farklı olarak 3D yazıcılara uygun beton tasarımında betonun reolojik özelliklerinin geliştirilmesi gerekmektedir. Betonun çalışma süresi uzatılırken kayma dayanımının artırılması temel ilkelerinden birisidir. Bu amaçla, karışıma ilave edilen katkıları betonun viskozitesini artırmadan betonda kaymayı önleyici özellik katarak kayma dayanımını arttırmaktadır. Bu katılardan viskozite düzenleyici katkıının başlıca işlevi betonun kayma dayanımını arttırmak ve üst üste eklenen beton tabakaların kaymasını önlemektir. Viskozite düzenleyici katkıların kullanılmadığı durumda standart viskozite seviyesinde beton fazlasıyla kayma eğilimi göstermektedir. Viskozite düzenleyici kullanılması ile aynı viskozite seviyesinde betonun kaymasını önleyici bir özellik kazandırılmaktadır. Böylece, çalışabilirlik süresi de artmaktadır (Özalp ve ark.,2018)

3D yazıcılar için geliştirilen elyaf takviyeli ince agregalı yüksek performanslı betonun karışım tasarımı ile taze ve sertleşmiş hâlde beton özelliklerine ilişkin deney sonuçları sunulmaktadır. Bu beton, üst üste katmanlı yapısal bileşenleri oluşturmak için bir 3D yazıcı nozulundan ekstrüde edilecek şekilde tasarlanmıştır. Yapım süreci, geleneksel beton inşaat yöntemlerinin aksine, kalıp olmadan mimari ve yapısal bileşenleri inşa edebilen yeni bir dijital kontrollü beton üretim yöntemidir ve eklemeli üretim (additive manufacturing) olarak isimlendirilmektedir (Garde ve ark., 2004).

2.3. Konfor Sıcaklığı (°C)

Bireylerin buldukları mekânlarda gerek bedensel gerekse zihinsel faaliyetlerini rahatlıkla sürdürebilmesi için ihtiyaç duydukları ortam sıcaklığıdır.

Binaların kullanımını sürecinde kullanıcı memnuniyetinin tespit edilmesi, mevcut durumdaki binaların daha verimli kullanılması ve daha sonra yapılacak tasarımlara yön vermesi açısından oldukça kullanılan bir yöntemdir. Bu bağlamda bakıldığında kullanım sürecinde değerlendirme sisteminin faydaları;

- Binalardaki sorunları ve onların çözümlerini kısa sürede belirlemek,
- Bina performansının ve alan kullanımının geri bildirimini geliştirmek,
- İnşa süreci ve binanın yaşam döngüsü boyunca önemli maliyet tasarrufları sağlamak olarak söylenebilir.

2.4. Isıtma Tasarımı (Heating Design)

Isıtma yükü, binaların kış aylarına ait dış hava koşullarında bina iç mekânlarının konfor sıcaklığına erişebilmesi için ihtiyaç olan enerji miktarına ısıtma yükü denir.

Design Builder programında tasarlanan yapılar için kış hava koşullarını karşılamak amacıyla ihtiyaç olan enerji miktarı hesaplanmıştır. Design Builder programı ile Isıtma Tasarımı analizleri yapılabilmektedir. Design Builder programında, duvarların toplam ısı transfer katsayısı değerleri farklı yalıtım malzemeleri kullanarak veya malzemenin kalınlığı değiştirilerek optimum model bulunabilir. Isıtma tasarımının hesaplanması için temel parametreler belirlenmiştir.

Design Builder programına belirlenen kış tasarımı, dış sıcaklık verileri, modellenen binanın konumuna göre hava durumu veri şablonuyla ayarlanmıştır. Programda güneş kazancı yok olarak kabul edilmiştir. Aydınlatma ekipmanı ve doluluk gibi dahili kazançlar dikkate alınmamıştır. Aktivite bölümünden ısıtma sıcaklık ayarları, kolektif ısıtma sistemi, farklı sıcaklıktaki bölgeler arasındaki ısı iletimini ve konveksiyon değerlerine ulaşılabilir.

2.5. Soğutma Tasarımı (Cooling Design)

Soğutma yükü, binaların kış aylarına ait dış hava koşullarında bina iç mekânlarının konfor sıcaklığına erişebilmesi için ihtiyaç olan enerji miktarına denir.

Design Builder programında tasarlanan yapılar için kış hava koşullarını karşılamak amacıyla ihtiyaç olan enerji miktarı hesaplanmıştır. Design Builder programı ile Isıtma Tasarımı analizleri yapılabilmektedir. Design Builder programında, duvarların toplam ısı transfer katsayısı değerleri farklı yalıtım malzemeleri kullanarak veya malzemenin kalınlığı değiştirilerek optimum model bulunabilir. Isıtma tasarımının hesaplanması için temel parametreler belirlenmiştir.

Design Builder programına belirlenen yaz tasarımı, dış sıcaklık verileri, modellenen binanın konumuna göre hava durumu veri şablonuyla ayarlanmıştır. Aydınlatma ekipmanı ve doluluk gibi dahili kazançlar dikkate alınmamıştır. Aktivite bölümünden soğutma sıcaklık ayarları, kolektif soğutma sistemi, farklı sıcaklıktaki bölgeler arasındaki ısı iletimini ve konveksiyon değerlerine ulaşılabilir.

3. MATERYAL VE YÖNTEM

Bu bölümde sırasıyla analizlerde kullanılan parametreler, kullanılan program ve bu programa veri girişlerinin yapılması konularına değinilmiştir

3.1. Analizlerde Kullanılan Parametreler

Çalışmanın bu bölümünde Design Builder programında modellenen binaların duvarların karakteristik özelliklerinin, pencere özelliklerinin ve çatı tiplerinin ne olarak alındığına dair açıklamalara yer verilmiştir. Çalışmanın ana araştırma hipotezi olan çatı tipi-enerji verimliliği ilişkisi, dış cephe pencere / duvar alanlarının oranlarının enerji verimliliğine olan etkisi, betonun toplam ısı transfer katsayısı değerinin enerji verimliliğine olan etkisi inceleneceği için alt bölümlerde her bir parametre detaylı olarak anlatılmıştır.

3.1.1. Duvar tipi

Tez çalışmasının duvar tipi ve kullanılacak beton özellikleri tanımlanırken Suntharalingam ve ark. (2021) ‘3D Baskılı Beton Duvarların Enerji Performansı: Sayısal Bir Çalışma’ adlı çalışması model olarak alınmıştır.

Suntharalingam ve ark. (2021) çalışmalarındaki Mix 1 karışımı (kükürt beton karışımı), Mix 2 karışımı (mantar beton karışımı), Mix 3 karışımı (organik bağlayıcı ile toz haline getirilmiş silika kum karışımı) olmak üzere 3 farklı beton tipi ele alınmıştır. Çalışmalarında kullandıkları beton karışımlarının ısıl özelliklerine Çizelge 3.2 ‘de verilmiştir.

Suntharalingam ve ark. (2021) çalışmalarında en uygun beton karışımını tespit edebilmek için 5 farklı duvar tipi ele almışlardır. Yaptıkları analizler en düşük Toplam ısı transfer katsayısına (U- değeri) sahip olan duvarların, beton karışımı Mix 3 beton karışımı ile elde edilen duvarlar olduğu tespit etmişlerdir. Ardından Mix 3 betonlu duvar modelinin duvar iç boşlukları için iki farklı parametre ele almışlardır. 1. parametre olarak: duvar iç boşluklarında sadece hava olduğunu; 2. parametre olarak: duvarların iç hava boşluklarında yalıtım malzemesi olan polilaktik asit (E-PLA) olduğu varsaymışlardır. Yalıtım amacıyla kullandıkları E-PLA yalıtım malzemesinin termofiziksel özellikleri Çizelge 3.1 ‘de verilmiştir. Ardından 1 metre eninde 1 metre yüksekliğinde 100 mm ve 200 mm genişliğinde 32 farklı 3D baskı betonu duvar ABAQUS sonlu elemanlar ile modellemişlerdir. Ele aldıkları beton duvarların konfigürasyonları Çizelge 3.3’te gösterilmiştir. Duvarların kombinasyon şeması ise Çizelge 3.4’te gösterilmiştir. Çalışmalarında 3 boyutlu ısı transfer analizleri ile

duvarların toplam ısı transfer katsayısı değerlerini (U- değeri) tespit etmişlerdir. Buldukları değerler Çizelge 3.5'te gösterilmiştir. Çalışmalarının sonucunda: 32 farklı 3D baskı beton duvarların toplam ısı transfer katsayısı değerlerini karşılaştırdıklarında en düşük toplam ısı transfer katsayısı değerinin C6 200 mm kalınlığındaki E-PLA yalıtım malzemeli duvar tipine ait olduğu tespit etmişlerdir. C6 200 mm kalınlığındaki E-PLA yalıtım malzemeli duvar tipinin toplam ısı transfer katsayısı değerinin $0,34 \text{ W/m}^2 \cdot \text{K}$ 'nu bulmuşlardır.

Tez kapsamında C6 200 mm duvar konfigürasyonundan ve duvar iç boşlukların E-PLA yalıtım malzemesi içerdiği varsayılarak Design Builder programında modellenmiştir. Ayrıca duvarlarda kullanılacak beton tanımlanırken, Mix 3 haricinde Mix 1 ve Mix 2 beton karışımları da ele alınmıştır.

Çizelge 3.1 Boşluk yalıtımının termofiziksel özellikleri (Alkhalidi ve Hatuqay, 2021)

Karışım Türü	Yoğunluk (kg/m^3)	Termal iletkenlik ($\text{W/m} \cdot \text{K}$)	Özgül Isı ($\text{J/g} \cdot \text{K}$)	Emisivite (Yayınım)
Hava boşluğu	İdeal gaz	0,0242	1,00643	$1,7894 \times 10^{-5}$
E-PLA	30	0,03	1,483	-

Çizelge 3.2. 3 farklı beton karışımın özellikleri (Alkhalidi ve Hatuqay, 2021)

Karışım Türü	Yoğunluk (kg/m^3)	Isıl iletkenlik ($\text{W/m} \cdot \text{K}$)	Özgül Isı ($\text{J/g} \cdot \text{K}$)	Emisivite (Yayınım)
Mix 1	1254	0,367	0,80300	0,558
Mix 2	989	0,338	1,127	0,583
Mix 3	1522	0,2	0,730	0,94

Çizelge 3.3. Duvar konfigürasyonları (Suntharalingam ve ark.,2021)

Duvar Konfigürasyonu (1 m x 1m)	100 mm	200 mm
C1		
C2		
C3		
C4		
C5		
C6		
C7		
C8		

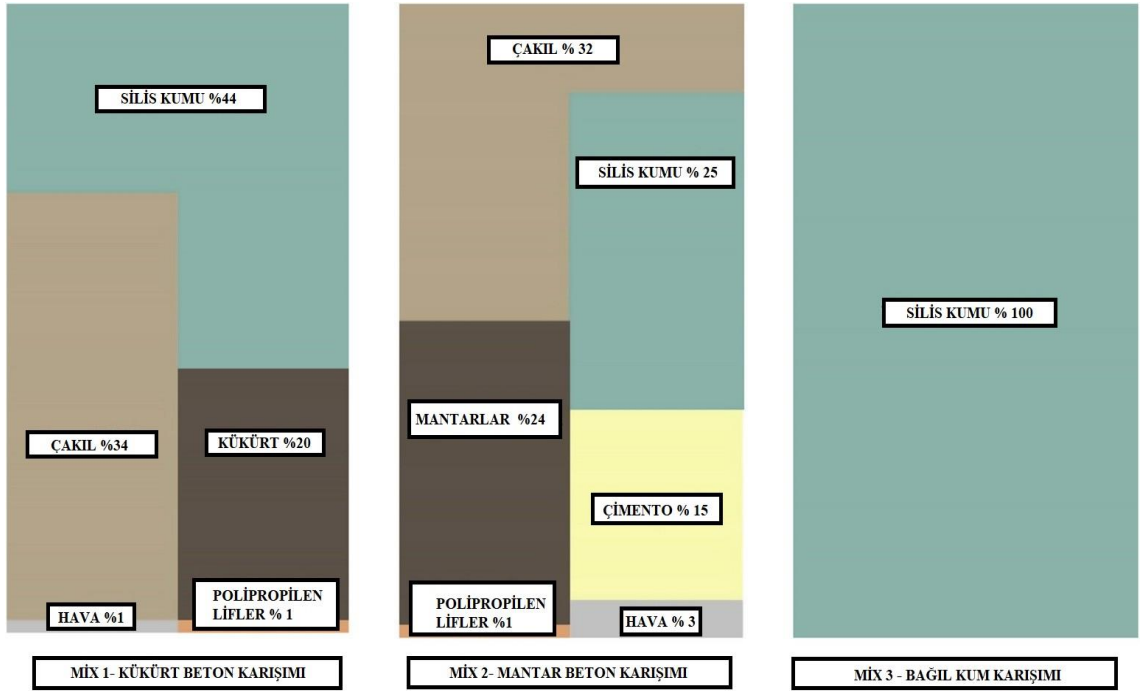
Çizelge 3.4. 32 farklı 3D baskı betonu duvar kombinasyon şeması (Suntharalingam ve ark.,2021)

Duvar Kalınlığı	Duvar Konfigürasyonu	Yalıtım Tipi	Model Sayısı
	C1		4
	C2		4
	C3		4
100 mm	C4	Hava boşluğu	4
200 mm	C5	E-PLA yalıtımı	4
	C6		4
	C7		4
	C8		4
Toplam			32

Çizelge 3.5. 32 farklı 3D baskı betonu duvarın toplam ısı transfer katsayı değerleri (U- değeri)

Duvar Konfigürasyonu	Boşluk alanı (mm ²)	Beton alanı (mm ²)	U-Değerleri (W/m ² K)	
			Yalıtımsız Duvarın U-değeri (W/m ² K)	Yalıtımlı (E-PLA) Duvarın U-değeri (W/m ² K)
C1(100mm)	52.519	47.481	2,68	0,87
C2(100mm)	64.144	35.856	3,16	0,65
C3(100mm)	57.174	42.826	2,79	0,64
C4(100mm)	23.923	76.077	1,85	1,42
C5(100mm)	23.923	76.077	1,85	1,42
C6(100mm)	45.568	54.432	1,89	0,96
C7(100mm)	37.736	62.264	2,09	0,68
C8(100mm)	37.736	62.264	2,09	0,69
C1(200mm)	99.330	100.670	1,74	0,45
C2(200mm)	126.225	73.775	1,26	0,5
C3(200mm)	106.855	93.145	1,71	0,49
C4(200mm)	43.477	156.523	1,01	0,73
C5(200mm)	43.477	156.523	1,01	0,72
C6(200mm)	87.500	112.500	2,17	0,34
C7(200mm)	72.721	127.279	1,01	0,49
C8(200mm)	72.721	127.279	1,01	0,5

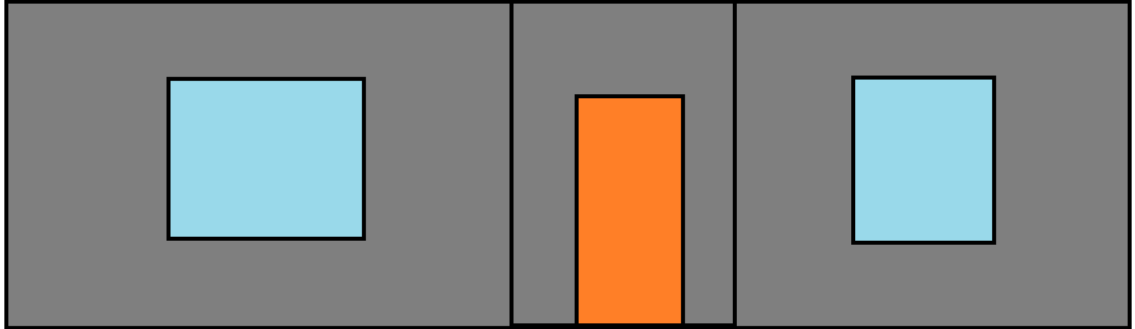
Bu tez çalışmasının binaların duvar elemanlarının beton malzemesi yukarıda bahsedilen Suntharalingam ve ark. (2021) çalışmasındaki beton türleri (Mix 1, Mix 2, Mix 3) alınmıştır. Mix 1 karışımı (kükürt beton karışımı), Mix 2 karışımı (mantar beton karışımı), Mix 3 karışımı (organik bağlayıcı ile toz haline getirilmiş silika kum karışımı)'nın beton içerikleri Şekil 3.1'de gösterilmiştir.



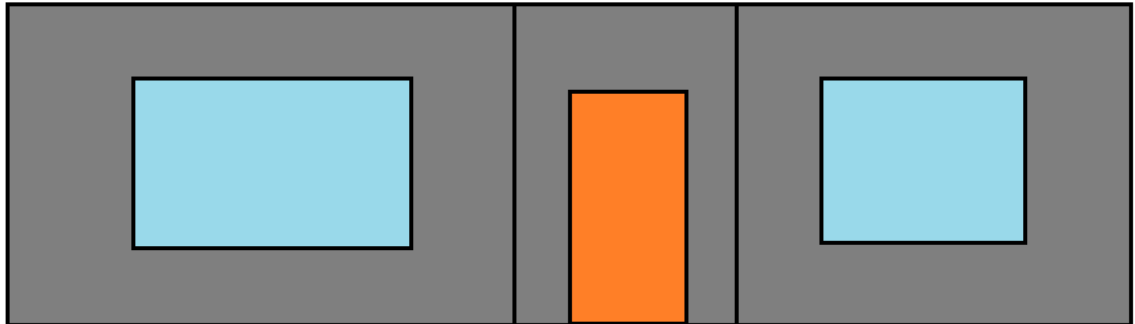
Şekil 3.1. Beton karışımlarının malzeme içerikleri (Alkhalidive Hatugay, 2020).

3.1.2. Pencere tipi

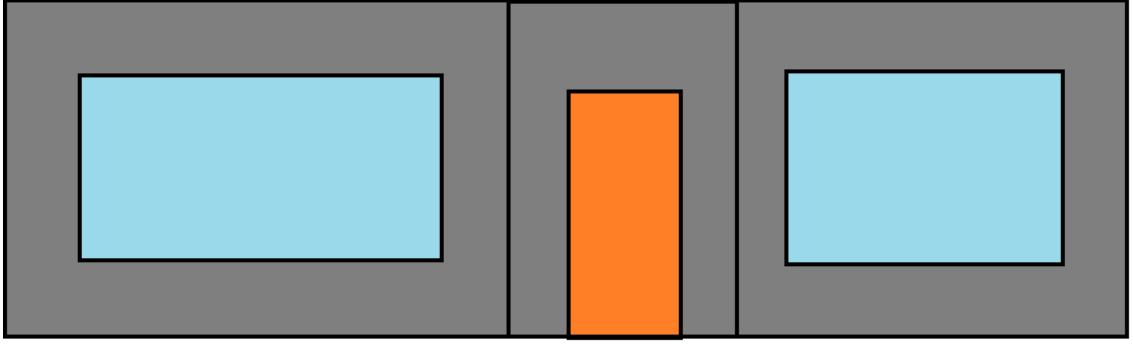
Binaların Pencere/duvar oranları %20, %30 ve %40 olarak alınarak programda ayrı ayrı tanımlanmıştır. Şekil 3.2, Şekil 3.3, Şekil 3.4'te sırasıyla pencere / duvar oranlarına daire değişik örnek görseller verilmiştir.



Şekil 3.2. Pencere/duvar oranı %20 olan binanın örnek gösterimi (Yazar tarafından oluşturulmuştur)



Şekil 3.3. Pencere/duvar oranı %30 olan binanın örnek gösterimi (Yazar tarafından oluşturulmuştur)



Şekil 3.4. Pencere/duvar oranı %40 olan binanın örnek gösterimi (Yazar tarafından oluşturulmuştur)

3.1.3. Çatı tipi

Soğutma ve ısıtma tasarımı için ihtiyaç olan enerji miktarında, çatı mimari formunun etkisinin olup olmadığını ve yaşam alanı tanımlanıp tanımlanmamasının etkilerini gözlemlemek amacıyla çatılar düz çatı, beşik çatı 1 ve beşik çatı 2 olmak üzere 3 tipte modellenmiştir.

Beşik çatı 1'in iç mekânında yaşam alanının olmadığı farz edilmiş ve hareket şablonu tanımlanmamıştır. Beşik çatı 2'nin iç mekânında ise yaşam alanının olduğu farz edilmiş ve hareket şablonu tanımlanmıştır. Şekil 3.5'te çatı tiplerinin gösterimine yer verilmiştir. Her 3 çatı tipinin taban döşemelerinde toplam ısı transfer katsayı değeri $U=2,480 \text{ W/m}^2\text{K}$ olan dökme beton tanımlanmıştır. Ayrıca çatılara yalıtım uygulaması da tanımlanmıştır.

Yalıtım uygulaması için beşik çatı 1 ve beşik çatı 2'de aynı yalıtım malzemeleri tanımlanırken düz çatı da ise farklı yalıtım malzemeleri kullanılmıştır. Ama tüm çatı tiplerinde uygulanan yalıtım uygulamasının toplam ısı transfer katsayı değeri $0,373 \text{ W/m}^2\text{K}$ 'e eşitlenmiştir.

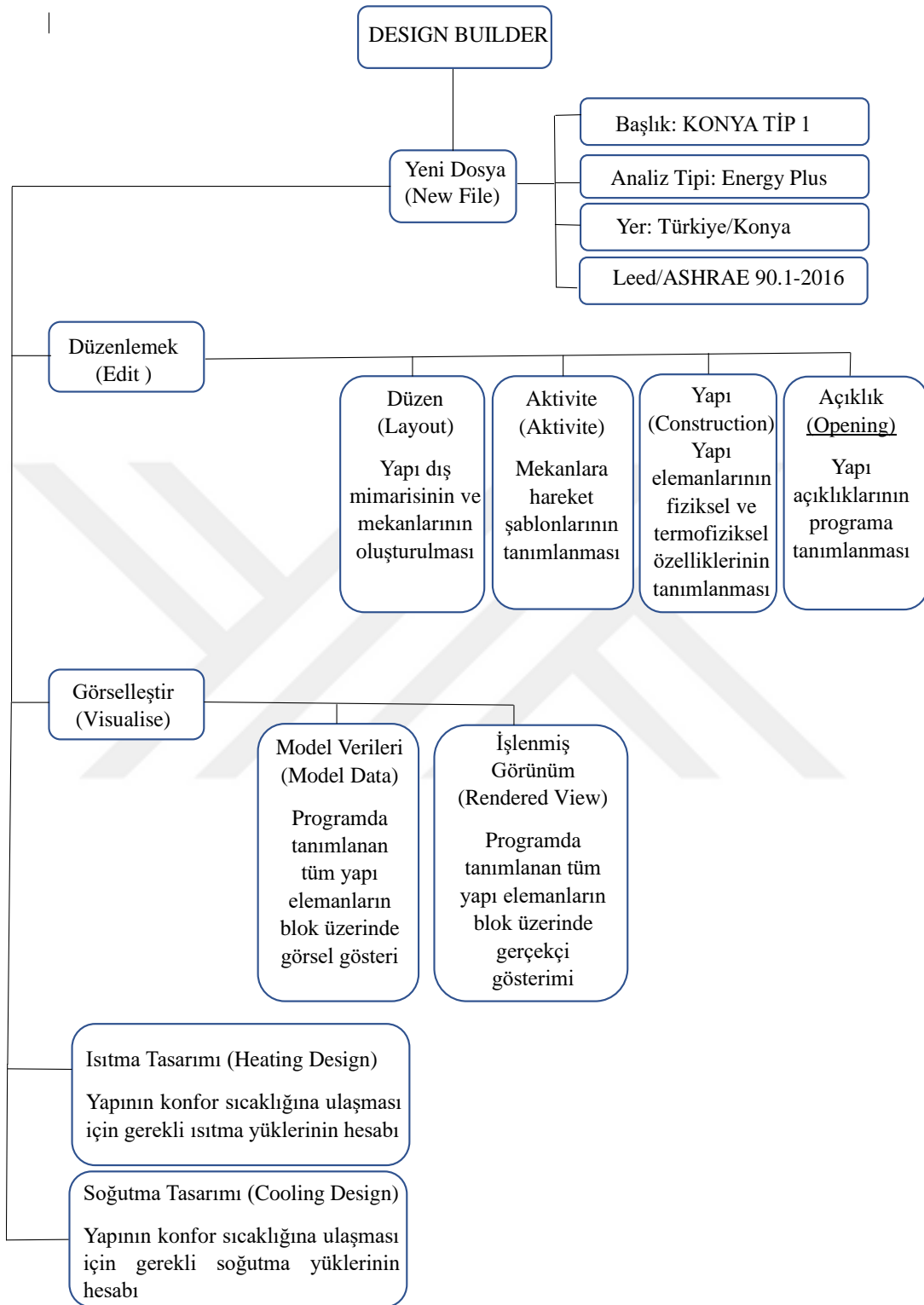
Şekil 3.5'te binalara tanımlanan çatı tiplerinin genel gösterimlerine ve çatılarda uygulanan yalıtım uygulamaların görsellerine yer verilmiştir.

3.2. Kullanılan Program

Bu tez çalışmasında enerji tüketimini minimum seviyede tutabilecek 3D beton yazıcı ile imal edilebilecek Türkiye’de karasal iklim bölgesinde yer alan Konya ilinde yapılacak bir ideal konut modeli ve bu model üzerinden parametrik bir çalışma yapılmıştır.

Dünya’da ve paralelinde Türkiye’de üretimi artmaya başlayan ve yakın bir gelecekte yapı sektörü içinde bir paya sahip olabilecek olan 3D beton üretiminin önemi, Türkiye’de yaygın iklim şartı düşünülerek, enerji verimliliği bağlamında bazı parametreler üzerinden değerlendirilmiştir.

Konya ilinde 3D beton yazıcı ile imal edilebilecek konutun enerji gereksinimlerini en aza indirmek ve boşa harcanan enerjinin önüne geçebilmek için farklı tip mimari ve beton özelliklerine sahip 27 tip bina Design Builder Enerji Simülasyon Programı 7.02.006 sürümünde modellenmiştir. 27 farklı tipin oluşturulmasında pencere/duvar oranları, uygulanacak çatı tip çeşitleri ve duvar tiplerinde kullanılacak olan beton türünün farklı olması gibi parametreler düşünülmüştür. Böylece Hipotez 1, Hipotez 2 ve Hipotez 3’ün desteklenmesi hedeflenmiştir. Binanın konfor sıcaklığına ulaşması için gerekli olan enerji miktarını bulabilmek için Isıtma Tasarımı (Heating Design) ve Soğutma Tasarımı (Cooling Design) analizleri yapılmıştır. Design Builder programında binaların modellenme süreci Şekil 3.6’da açıklanmıştır.



Şekil 3.6. Design Builder programında binaların modellenme sürecinin akış şeması (Yazar tarafından oluşturulmuştur.)

3.3. Bina Kat Planı ve Mimarisi

3D yazıcı ile üretilmesi planlanan konutun mimari tasarımında 3D beton teknolojisi ile imalatı yapılan İstanbul Beton Elemanları ve Hazır Beton Fabrikaları San. ve Tic. A.Ş. (İSTON)'in İstanbul'da yapmış olduğu bina örnek olarak alınmıştır. Örnek alınan binanın Şekil 3.7 ve Şekil 3.8'de görselleri mevcuttur. Bu bina 155 m² oturma alanına sahip olmakla beraber 3 oda, 1 salon ve banyo +wc oluşmaktadır.

Tez çalışmasında ise düz çatı ve beşik çatıdan oluşan 27 farklı tip bina Design Builder programında modellenmiştir.

Düz çatılı binalar, 120 m² brüt alana sahip olacak şekilde ve tek katlı olarak modellenmiştir. 2 oda, 1 salon, 1 mutfak ve 1 banyo + wc'den oluşmaktadır. Binanın kat yüksekliği 3 m olarak alınmıştır. Şekil 3.9'da zemin kat mimari planın görseline yer verilmiştir.

Beşik çatılı binalar ise zemin kat ve çatı katından oluşmaktadır. Binaların zemin katı düz çatılı binalarda olduğu gibi zemin katı Şekil 3.9'da belirtilen mimari plana göre tasarlanmıştır. 120 m² brüt alana sahip olup kat yüksekliği 3 m olarak alınmıştır. Çatı katı ise zemin katla aynı kat alanına sahip olup tek odadan oluşmaktadır. Çatı eğimi 30 derece alınmıştır.

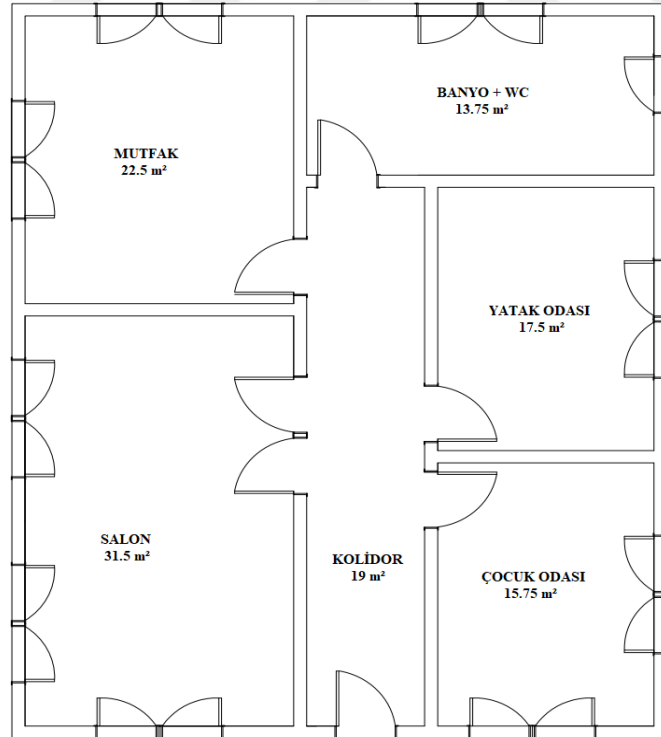
Mimari projeye bakıldığında, binaların zemin katında yer alan banyo +wc alanı 13,75 m², çocuk odası alanı 15,75 m², koridor alanı 19 m², mutfak alanı 22,5 m², salon alanı 31,5 m², yatak odası alanı 17,5 m² olup modellenen binanın toplam alanı 120 m² 'dir.



Şekil 3.7. İSTON firması tarafından 3D yazıcı beton ile imalatı tamamlanan binanın görseli (URL 30)



Şekil 3.8. İSTON firması tarafından 3d beton yazıcı ile imalatı tamamlanan binanın görseli (URL 30)



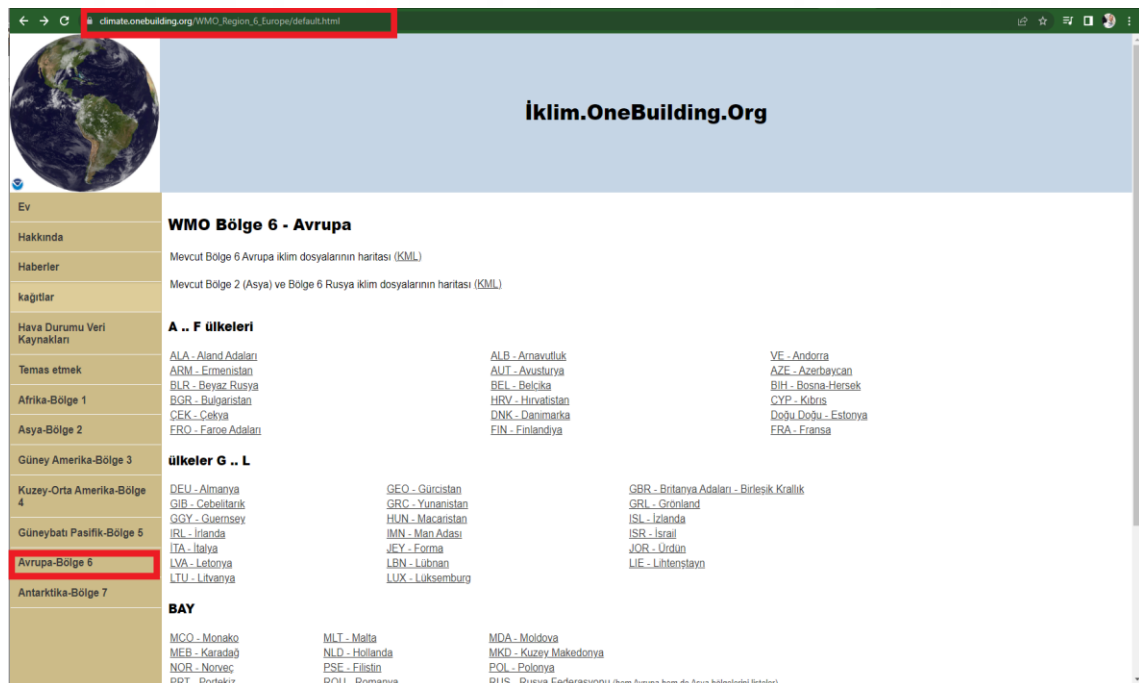
Şekil 3.9. Design Builder programı ile modellenen örnek beton konut projesinin mimari proje taslağı (Yazar tarafından oluşturulmuştur)

3.4. Programa Veri Girişlerinin Yapılması

Çalışmanın bu bölümünde Design Builder programında binaların modelleme aşamalarındaki veri girişlerinin program üzerinden nasıl tanımlandığına yönelik açıklamalara yer verilmiştir.

3.4.1. Design Builder programında binanın konum ve hava durumu verilerinin tanımlanması

Bu aşamada literatürde kullanılan Climate.OneBuilding. Org sitesinden faydalanılmıştır (URL 31). Bu sitede yer alan Europe-Region 6 sekmesine tıklanarak Türkiye'deki tüm şehirlerin iklim verileri dosyalarına ulaşılabilir. Analizlerde kullanılacak şehrin iklim veri dosyası indirilmiştir. Bu dosya farklı dosya formatlarına sahip dosyaları içermektedir. Design Builder programı Energy Plus yazılımı ile çalışmaktadır. Bu sebeple dosyalar arasından EPW (Energy Plus Weather Formate Energy Plus Hava Durumu Formatı) formatı Design Builder programına yüklenmiştir. Hava durumu verileri Büyükkayacak, 42250 Selçuklu/Konya adresine ait verilerdir. 27 farklı bina için de belirtilen adres belirtilerek edilerek modellenmiştir. Design Builder programına tanımlanma aşamaları sırasıyla Şekil 3.10'den Şekil 3.15'e kadar görsel olarak açıklanmıştır.



Şekil 3.10. https://climate.onebuilding.org/WMO_Region_6_Europe/default.html sitesinin giriş menüsü (URL 31)

climate.onebuilding.org/WMO_Region_6_Europe/TUR_Turkey/index.html

Details (List Below)	
AA Adana	IZ Izmir
AD Adiyaman	KA Kars
AF Afyonkarahisar	KB Karabuk
AG Agri	KC Kocaeli
AK Aksaray	KH Kirsehir
AL Antalya	KI Kilis
AM Amasya	KK Kirikkale
AN Ankara	KL Kirklareli
AR Ardahan	KM Kahramanmaraş
AV Artvin	KO Konya
AY Aydin	KR Karaman
BB Bayburt	KS Kastamonu
BC Bilecik	KU Kutahya
BD Burdur	KY Kayseri
BG Bingol	MG Mugla
BK Balikesir	ML Malatya
BL Bolu	MN Manisa
BM Batman	MR Mardin
BR Bartin	MS Mus
BT Bitlis	NG Nigde
BU Bursa	NV Nevsehir
CI Cankiri	OR Ordu
CK Canakkale	OS Osmaniye
CM Corum	RI Rize
DN Denizli	SI Sirt
DU Duzce	SK Sakarya
DY Diyarbakir	SP Sinop
EG Edirne	SR Sirmak
EG Elazig	SS Samsun
EM Erzurum	SU Sanliurfa
EN Erzincan	SV Sivas
ES Eskisehir	TB Trabzon
GA Gaziantep	TC Tunceli
GI Giresun	TG Tekirdag
GU Gumushane	TT Tokat
HK Hakkari	US Usak
HT Hatay	VA Van
IB Istanbul	YL Yalova
IC Mersin	YZ Yozgat
IG Igdir	ZO Zonguldak
IP Isparta	

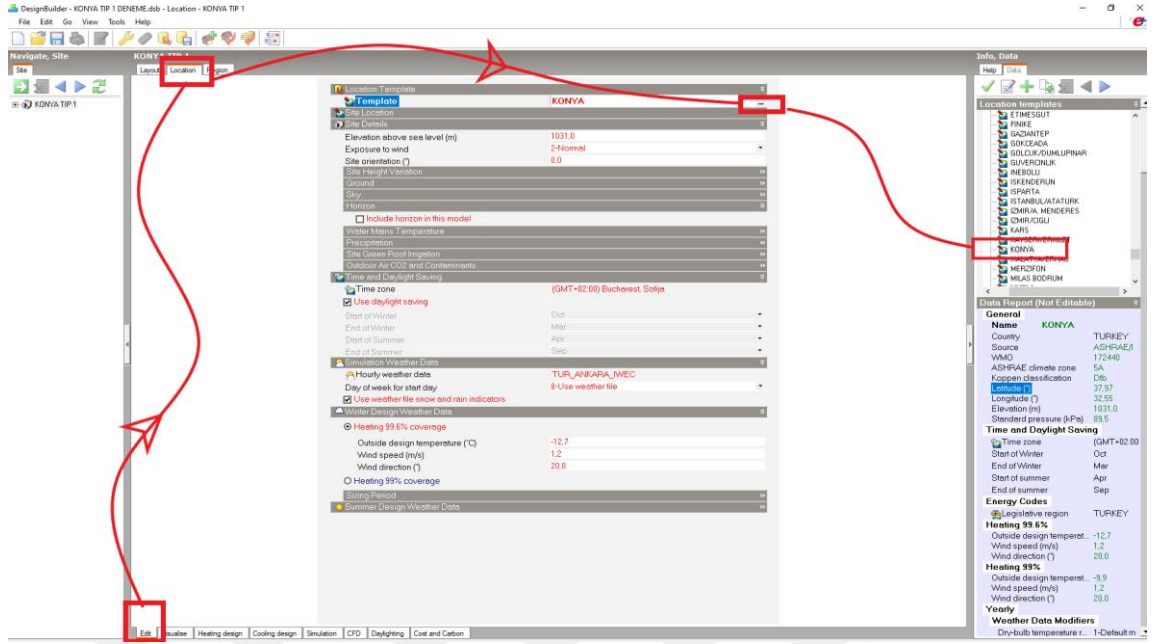
Şekil 3.11. Türkiye sekmesinden Konya ilinin seçilmesi (URL 31)

KO Konya					
TUR_KO_Akşehir.172390_TMYx.2004-2018.zip	385 K	TUR_KO_Cihanbeyli.171910_TMYx.zip	421 K	TUR_KO_Konya.172440_TMYx.2004-2018.zip	364 K
TUR_KO_Akşehir.172390_TMYx.2007-2021.zip	418 K	TUR_KO_Konya-Eregli.172480_TMYx.2004-2018.zip	396 K	TUR_KO_Konya.172440_TMYx.zip	402 K
TUR_KO_Akşehir.172390_TMYx.zip	418 K	TUR_KO_Konya-Eregli.172480_TMYx.2007-2021.zip	420 K	TUR_KO_Konya.AP.172440_TMYx.2007-2021.zip	392 K
TUR_KO_Cihanbeyli.171910_TMYx.2004-2018.zip	393 K	TUR_KO_Konya-Eregli.172480_TMYx.zip	421 K	TUR_KO_Konya_172440_TurTMYx.zip	330 K
TUR_KO_Cihanbeyli.171910_TMYx.2007-2021.zip	421 K				

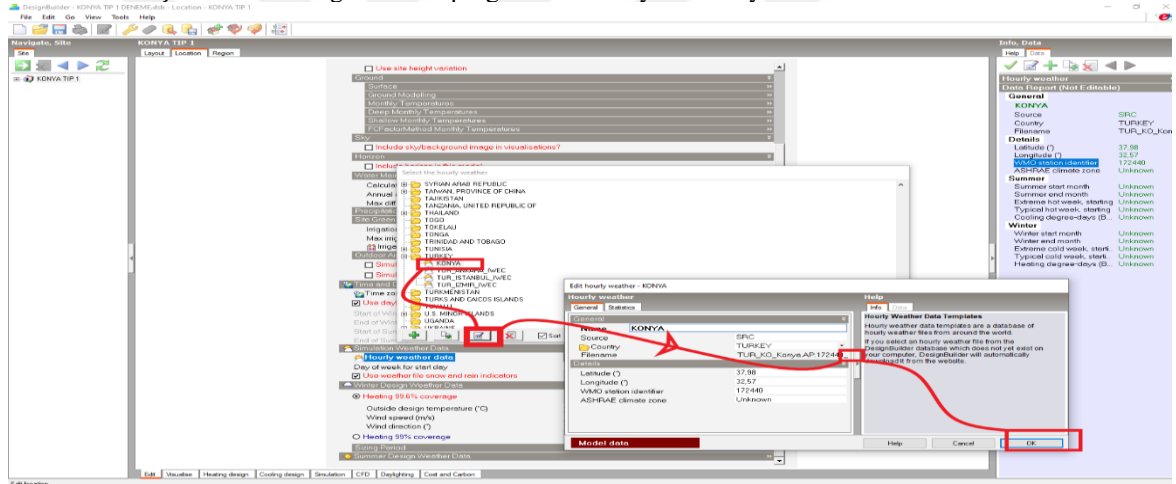
Şekil 3.12. Konya iline ait EPW dosyasının seçilme görseli (URL 31)

The screenshot shows the Design Builder software interface. The 'Weather Data' section is active, and the 'Konya' weather file is selected. The interface includes a file explorer on the left, a central settings panel, and a right-hand help panel.

Şekil 3.13. Design Builder programında epw dosyasının tanımlama aşamalarının gösterimi (Yazar tarafından oluşturulmuştur)



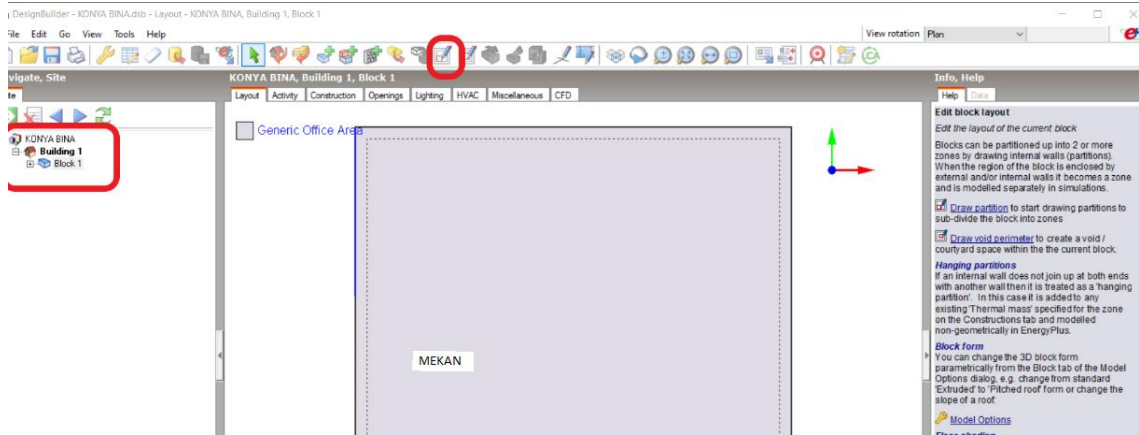
Şekil 3.14. Design Builder programında Konya il lokasyonunun tanımlanması



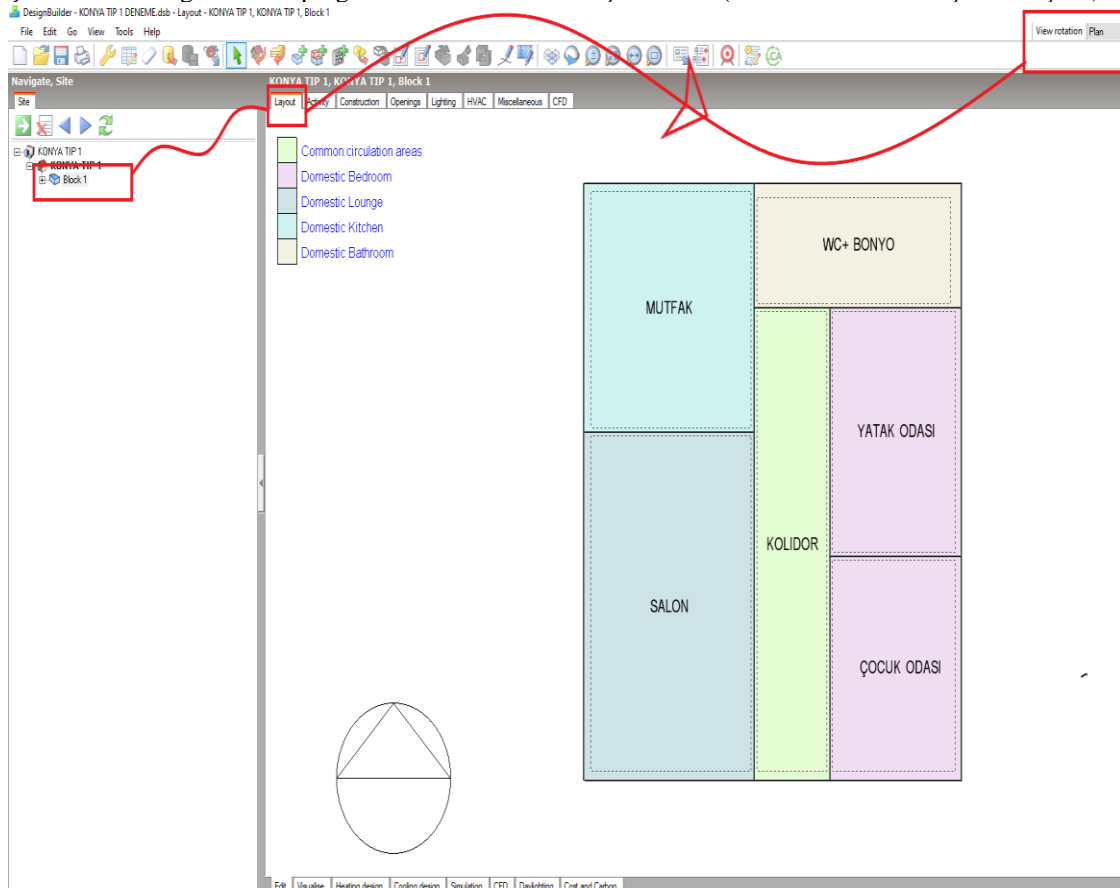
Şekil 3.15. Design Builder programında Konya iline ait hava durumu epw dosyasının yüklenmesi

3.4.2. Design Builder programında binanın mekânları tanımlanması

Bu tez çalışmasında modellenen binanın mimari planlamasında, İSTON firmasının İstanbul'da 3D robotik yazıcı yapılmış olduğu bina referans olarak alınmıştır. (Şekil 1.4 ve Şekil 1.5). Bina 2 yatak odalı, 1 mutfak, 1 adet koridor ve banyo + wc içeren 120 metrekare olarak planlanmıştır. Mekanlar Şekil 3.16'da işaretlenmiş olan kısımdan tanımlanmıştır. Plan düzleminde tanımlanan tüm mekanların genel gösterimi Şekil 3.17'de gösterilmiştir.



Şekil 3.16. Design Builder programında mekanların oluşturulması (Yazar tarafından oluşturulmuştur.)



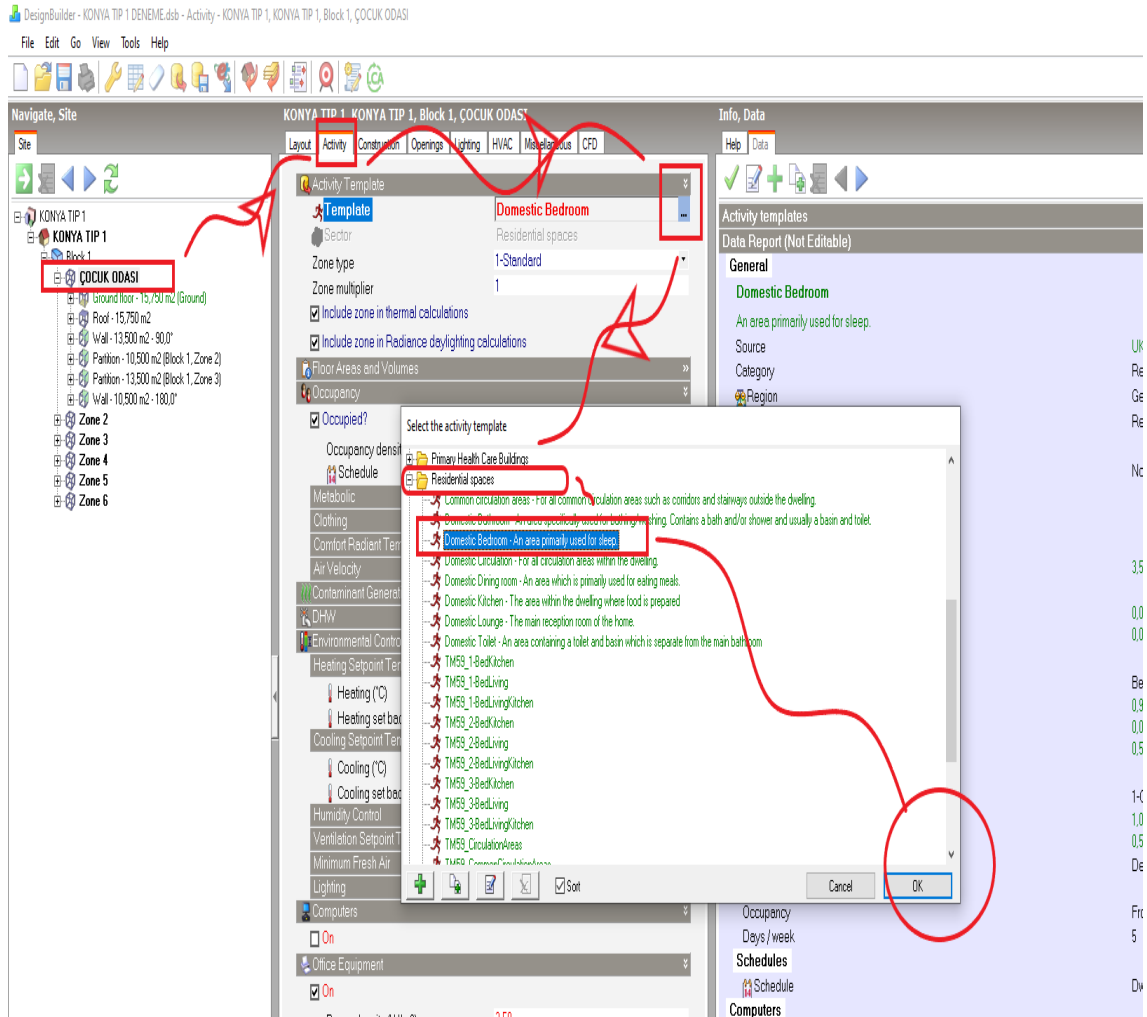
Şekil 3.17. Design Builder programında oluşturulan mekanların genel gösterimi (Yazar tarafından oluşturulmuştur)

3.4.3. Design Builder programında mekân hareket şablonlarının tanımlanması

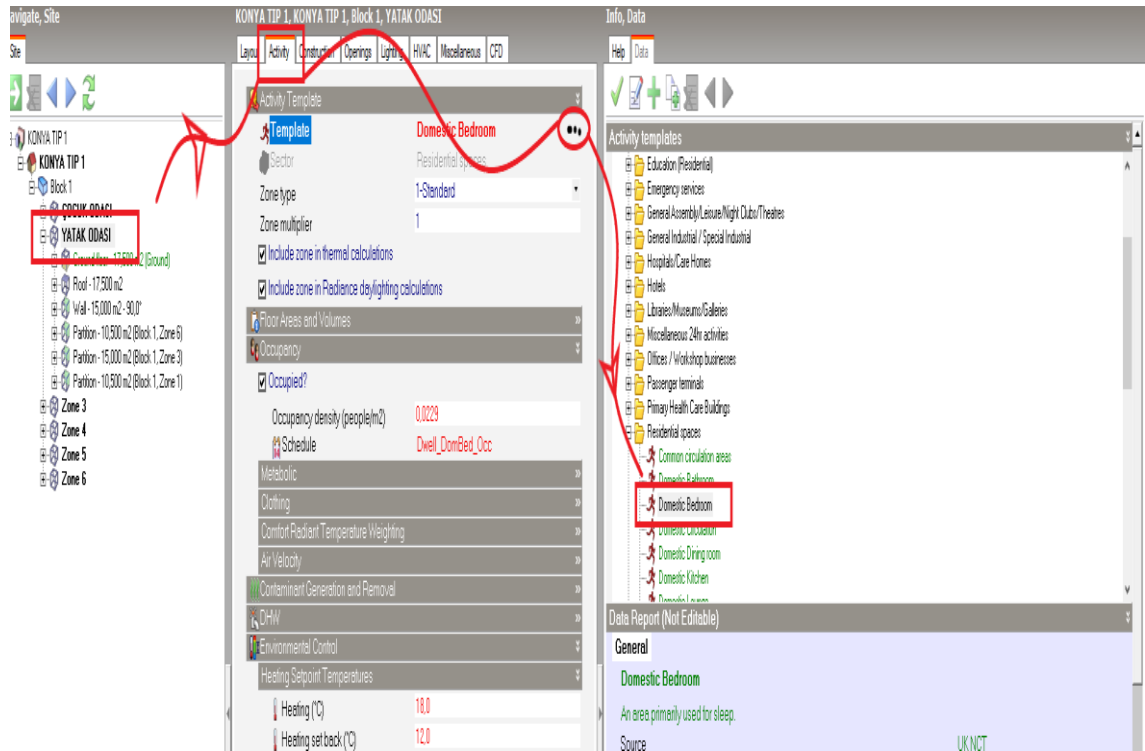
Tasarlanan bina 6 adet mekândan oluşmaktadır. Mekanların isimlerinin üzerine çift tıklayarak isimleri değiştirilmiş ve oda isimleri tanımlanmıştır. Gerçek bir binanın yansımısını oluşturmak için her bir mekân için programın düzenleme (edit) bölümünün aktivite (activity) sekmesinden hareket şablonları tanımlanmıştır.

Hareket şablonu: mekân kullanım amacına uygun olarak yaşam aktiviteleri içeren Design Builder programının içerisinde yer alan verilerdir.

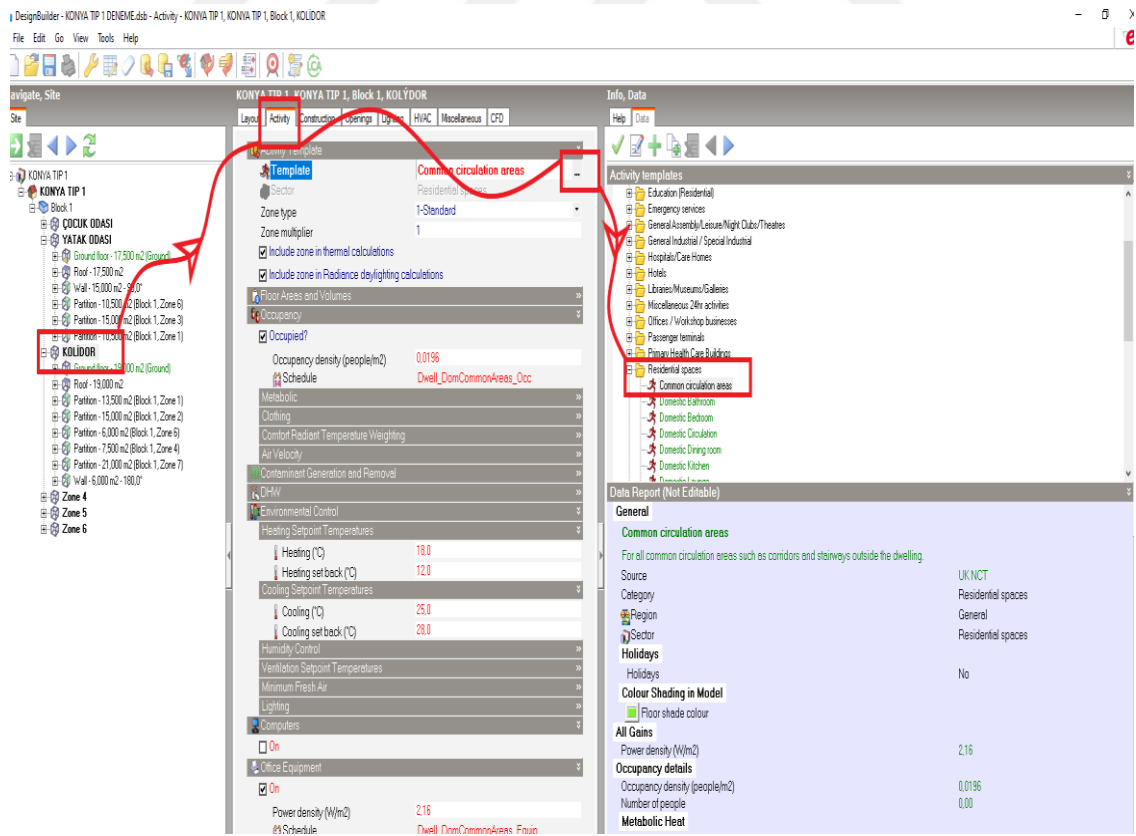
Programda yüklü olan ‘Konut alanları (Residential spaces)’ şablonu kullanılmıştır. 27 Tip binanın her biri için de aynı mimari plan ve aynı hareket şablonu tanımlanmıştır. Çocuk odası ve yatak odası için ‘Yerel Yatak Odası (Domestic Bedroom)’, koridor için ‘Ortak Dolaşım Alanı (Common Circulation Area)’, banyo+wc için ‘Yerel Banyo (Domestic Bathroom)’ mutfak için ‘Yerel Mutfak (Domestic Kitchen)’ ve Salon için ‘Yerel Dinlenme Salonu (Domestic Lounge)’ hareket sirkülasyon şablonları tanımlanmıştır. Programda veri tanımlama aşamaları Şekil 3.18’den Şekil 3.23’e kadar adım adım gösterilmiştir. Şekil 3.24’te binanın mekân aktivitelerinin genel gösterimine yer verilmiştir.



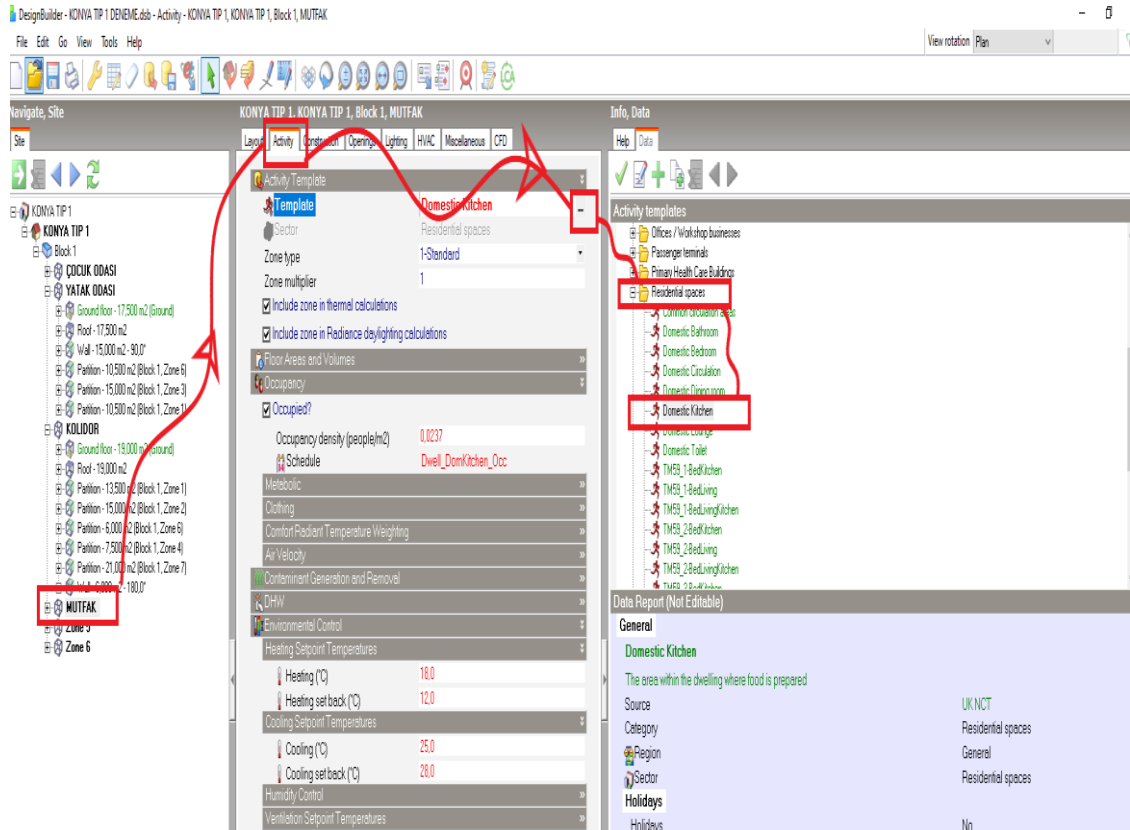
Şekil 3.18. Çocuk odası için ‘Yerel Yatak Odası’ şablonunun tanımlanması (Yazar tarafından oluşturulmuştur.)



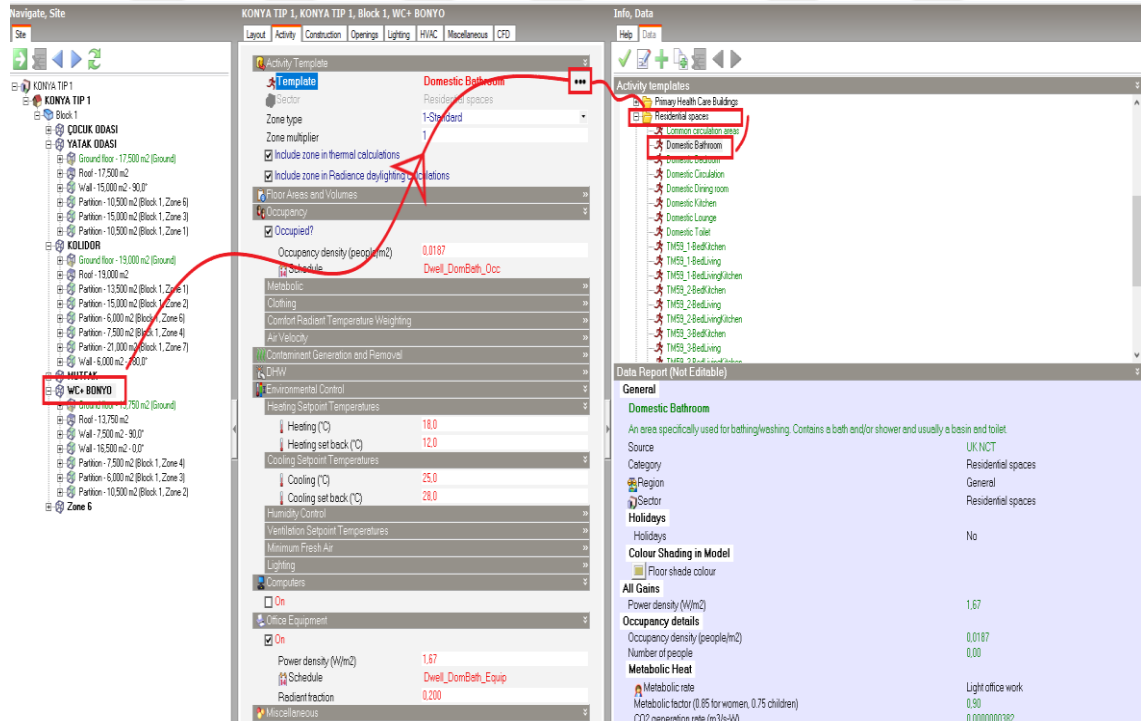
Şekil 3.19. Yatak odası için 'Yerel Yatak Odası' şablonunun tanımlanması (Yazar tarafından oluşturulmuştur.)



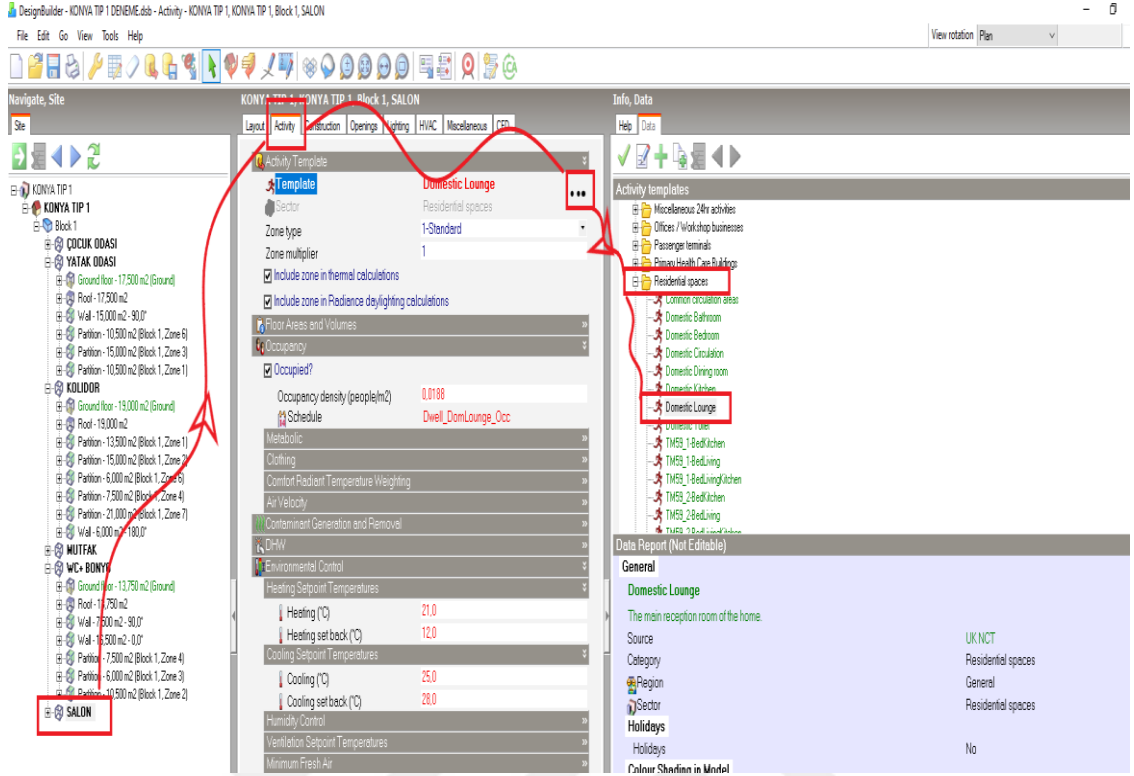
Şekil 3.20. Koridor için 'Ortak Dolaşım Alanı' şablonunun tanımlanması (Yazar tarafından oluşturulmuştur.)



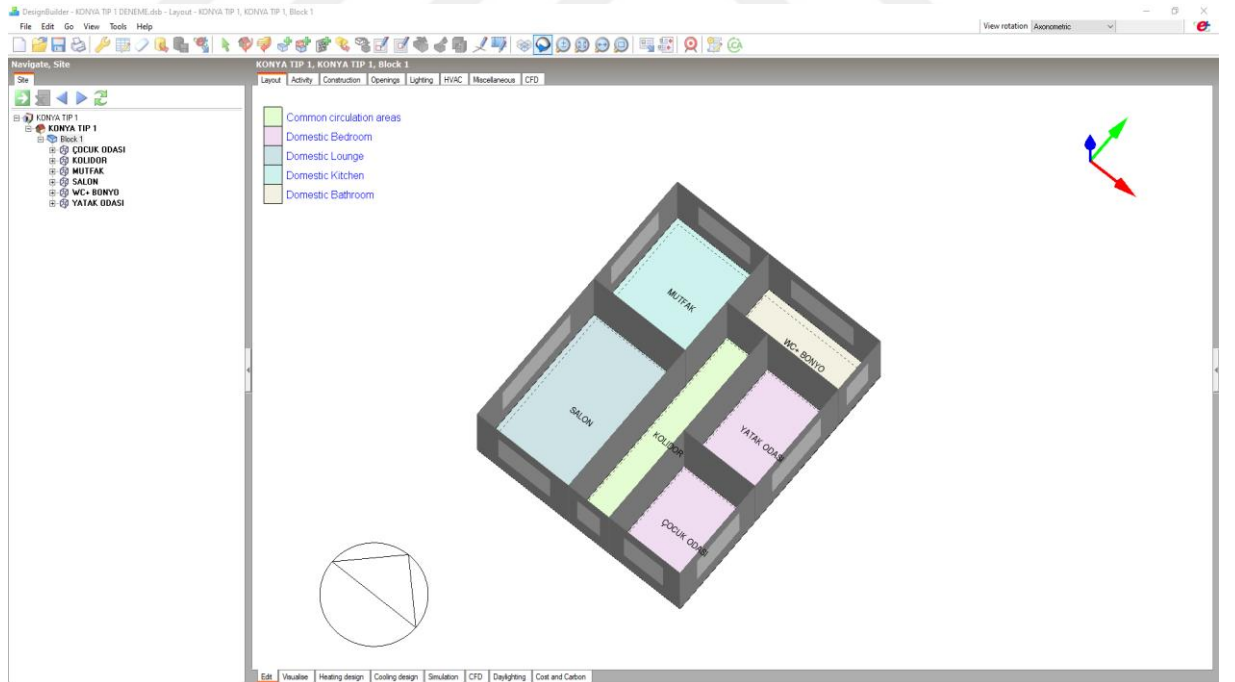
Şekil 3.21. Mutfak için 'Yerel Mutfak' şablonunun tanımlanması (Yazar tarafından oluşturulmuştur.)



Şekil 3.22. Wc + Bonya için 'Yerel Banyo' şablonunun tanımlanması (Yazar tarafından oluşturulmuştur.)



Şekil 3.23. Salon için 'Yerel Dinlenme Salonu' şablonunun tanımlanması (Yazar tarafından oluşturulmuştur.)



Şekil 3.24. Design Builder programında mekân bölgeleri ve aktiviteleri tanımlanan binanın genel gösterimi (Yazar tarafından oluşturulmuştur.)

3.4.4. Design Builder programında binanın yapı elemanlarının tanımlanması

3.4.4.1. Design Builder programında binanın duvar elemanlarının tanımlanması

Tez çalışmasının bu bölümünde Konya tip binalarının duvar özelliklerinin programa tanımlanmasına değinilmiştir.

Konya tip 1-9 binalarının duvar örgü şematizesini programda tanımlayabilmek için Suntharalingam ve ark. (2021) çalışması referans olarak seçilmiştir. 3D yazıcı ile üretilen beton binanın duvar verileri Design Builder programındaki ‘Düzenleme (Edit)’ bölümünün ‘Yapı (Construction)’ bölümünden tanımlanmıştır. Üretilmesi düşünülen binalarda, referans alınan çalışmadaki Mix 3- C6 200 mm polilaktik asit (E-PLA) yalıtım malzemeli, toplam ısı transfer katsayısı $0,34 \text{ W/m}^2\cdot\text{K}$ olan duvarlardan oluştuğu farz edilerek modellenmiştir. C6 200 mm polilaktik asit (E-PLA) yalıtım malzemeli duvarı gerçekçi bir şekilde programa aktarmak için Çizelge 3.7’de belirtilen Mix 3 beton değerleri Şekil 3.25’te gösterildiği gibi Design Builder’da tanımlanmıştır. Şekil 3.26’da gösterildiği gibi duvar kalınlığı 200 mm olarak ayarlanmıştır. Yalıtım malzemeli duvar konfigürasyonu programa tanımlamak için duvarın toplam ısı transfer katsayısı $0,34 \text{ W/m}^2\cdot\text{K}$ olarak ayarlanmış ve Şekil 3.27’de gösterilmiştir.

Çizelge 3.7. 3 farklı beton karışımın özellikleri (Alkhalidi ve Hatuqay, 2021)

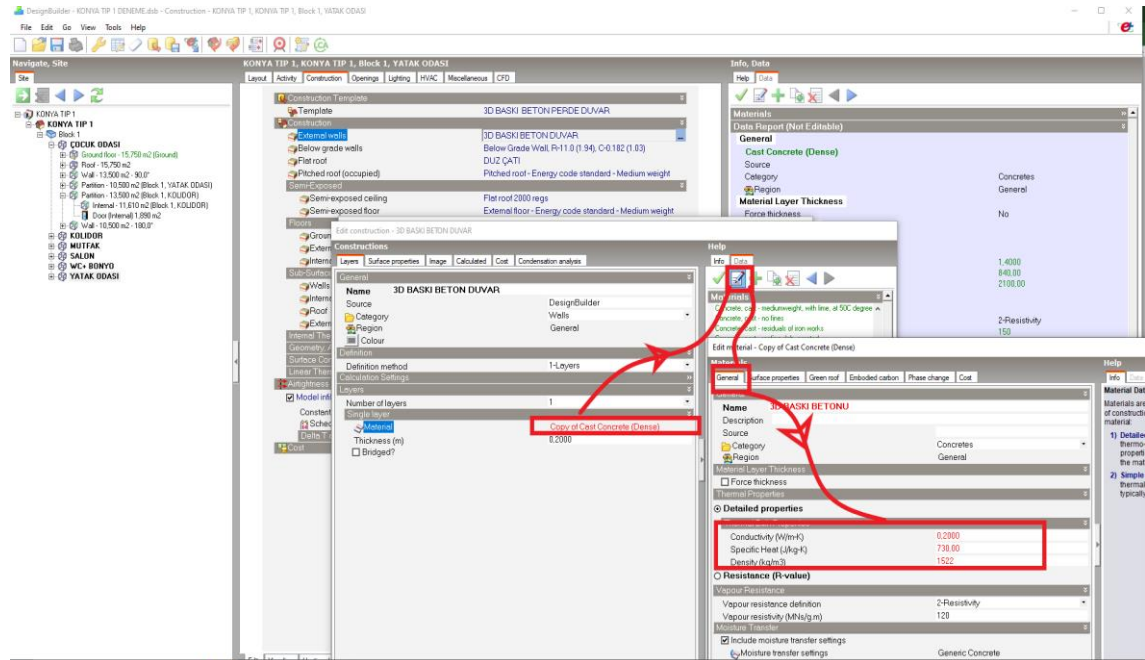
Karışım Türü	Yoğunluk (kg/m^3)	Isıl iletkenlik ($\text{W/m}\cdot\text{K}$)	Özgül Isı ($\text{J/g}\cdot\text{K}$)	Emisivite (Yayım)
Mix 1	1254	0,367	0,803	0,558
Mix 2	989	0,338	1,127	0,583
Mix 3	1522	0,2	0,73	0,94

Emisivite (ϵ), bir malzemenin mükemmel bir yayıcıya kıyasla kızılötesi enerjii ne kadar iyi yaydığı oranıdır (URL 32).

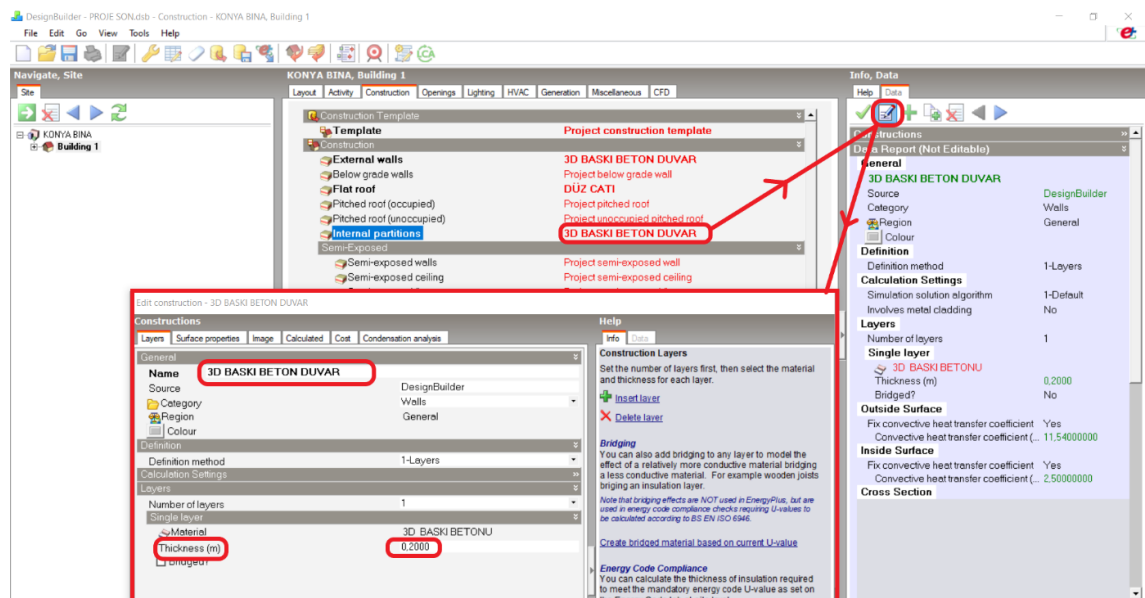
Betonda emisivite, betonun yüzey özelliklerinden kaynaklanan ısı yayma yeteneğini ifade eden bir terimdir. Beton yüzeyleri, genellikle güneş ışığına maruz kaldıklarında ısınır ve bu ısının çevreye yayılması için emisivite önemli bir rol oynar.

Betonda emisivite değeri, betonun yüzey özelliklerine bağlı olarak değişebilir. Beton yüzeylerindeki pürüzlülük, rengi, kaplama malzemesi ve yüzeyin işlem görmüş olup olmaması gibi faktörler, bu değerin belirlenmesinde etkilidir. Beton yüzeylerinin yüksek emisivitesi, yüzeyin ısı enerjisini hızlı bir şekilde yaymasına ve soğutmasına neden olur. Bu, sıcak havalarda beton yüzeylerin daha az ısınmasını sağlar ve ısı

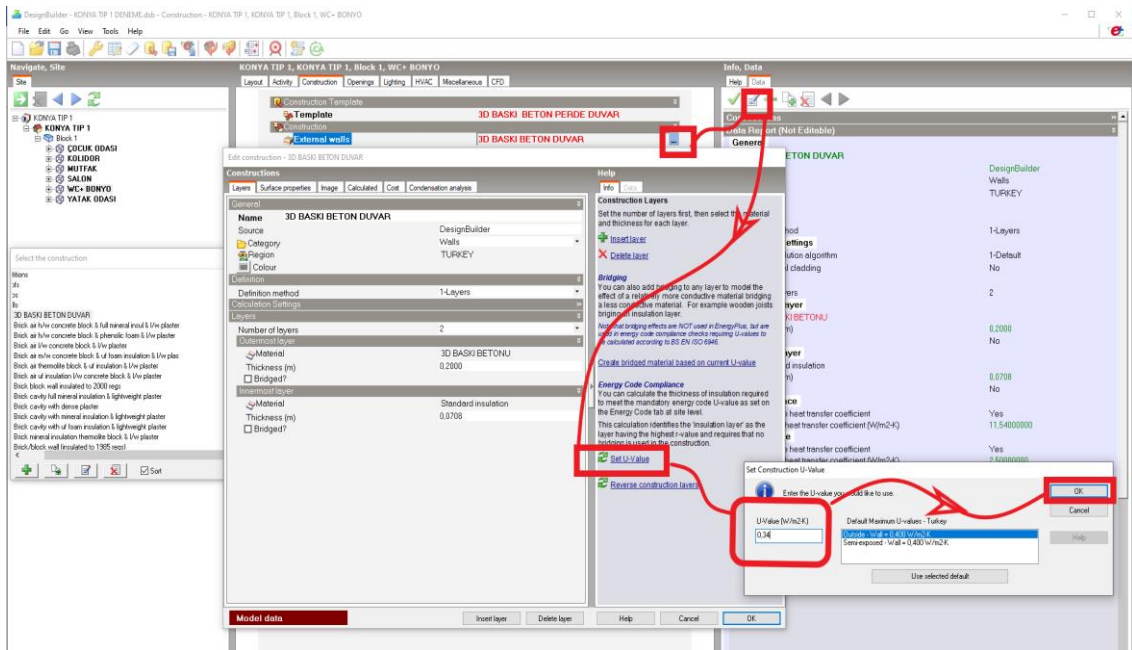
dalgalarının çevreye daha az yayılmasına yardımcı olur. Ayrıca, yüksek emisiviteli beton yüzeyleri, güneş enerjisi toplama sistemlerinde kullanılarak enerji üretiminde de kullanılabilir. Bunun ile, beton yüzeylerinin düşük emisivitesi, yüzeyin ısı enerjisini yavaş bir şekilde yaymasına ve soğutmasına neden olur. Bu, soğuk havalarda beton yüzeylerin daha az soğumasını sağlar ve ısı kaybını azaltır.



Şekil 3.25. Design Builder programına Mix 3 betonunun tanımlanması (Yazar tarafından oluşturulmuştur)

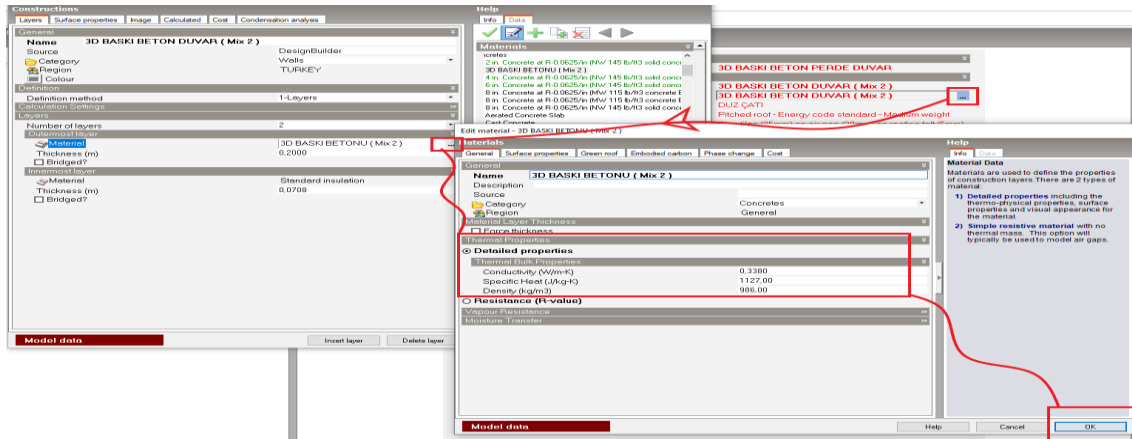


Şekil 3.26. Design Builder programına 200 mm duvarın tanımlanması (Yazar tarafından oluşturulmuştur)



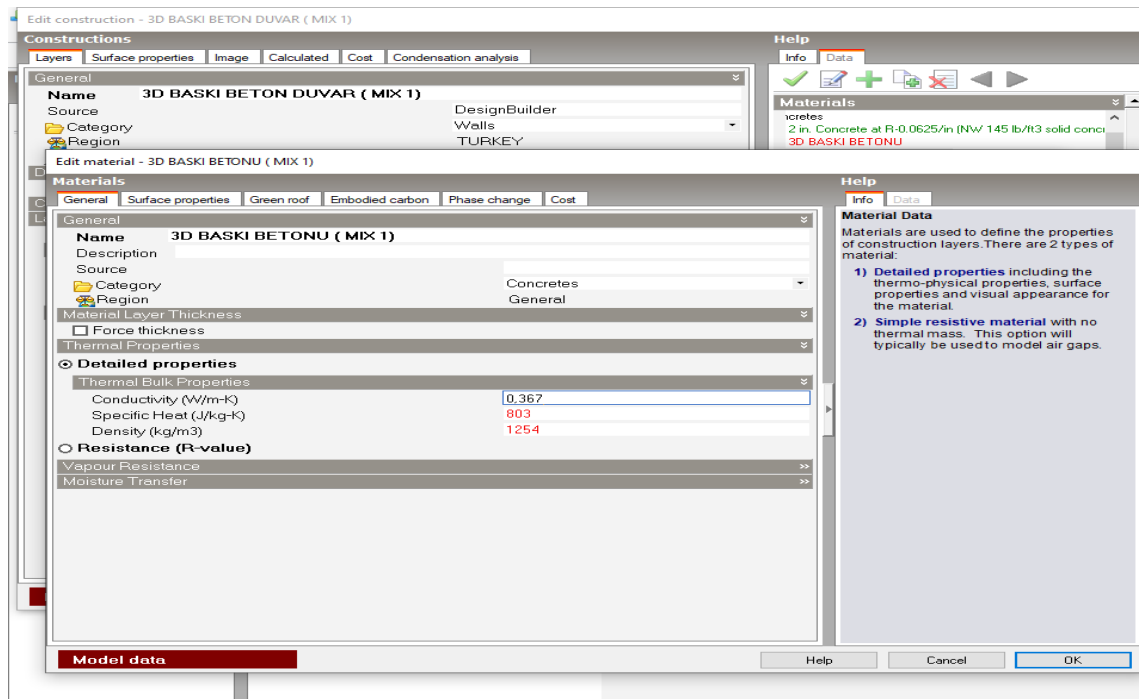
Şekil 3.27. Mix 3- C6 200 mm polilaktik asit (E-PLA) yalıtım malzemeli duvarın toplam ısı transfer katsayı değeri olan $U=0,34 \text{ W/m}^2.K$ 'nın Design Builder programına tanımlanması (Yazar tarafından oluşturulmuştur)

Konya tip 10-18 binalarının duvarlarının Mix 2- C6 200 mm polilaktik asit (E-PLA) yalıtım malzemeli olduğu farz edilmiştir. Mix 2- C6 200 mm polilaktik asit (E-PLA) yalıtım malzemeli duvarı programa tanımlayabilmek için Konya tip 1 binası referans olarak alınmıştır. Duvar özellikleri tanımlanmış Konya tip 1 binası farklı kaydedilerek Mix 3 beton değeri Çizelge3.7'de belirtilen Mix 2 beton değerleri ile değiştirilmiştir. Böylelikle Mix 2- C6 200 mm polilaktik asit (E-PLA) yalıtım malzemeli yeni duvar programda oluşturulmuştur. Şekil 3.28'de gösterilmiştir. Design Builder programı Mix 2- C6 200 mm polilaktik asit (E-PLA) yalıtım malzemeli yeni duvarın toplam ısı transfer katsayısı $0,395 \text{ W/m}^2.K$ olarak hesaplanmıştır.



Şekil 3.28. Mix 2- C6 200 mm polilaktik asit (E-PLA) yalıtım malzemeli duvarın Design Builder programında tanımlanması (Yazar tarafından oluşturulmuştur)

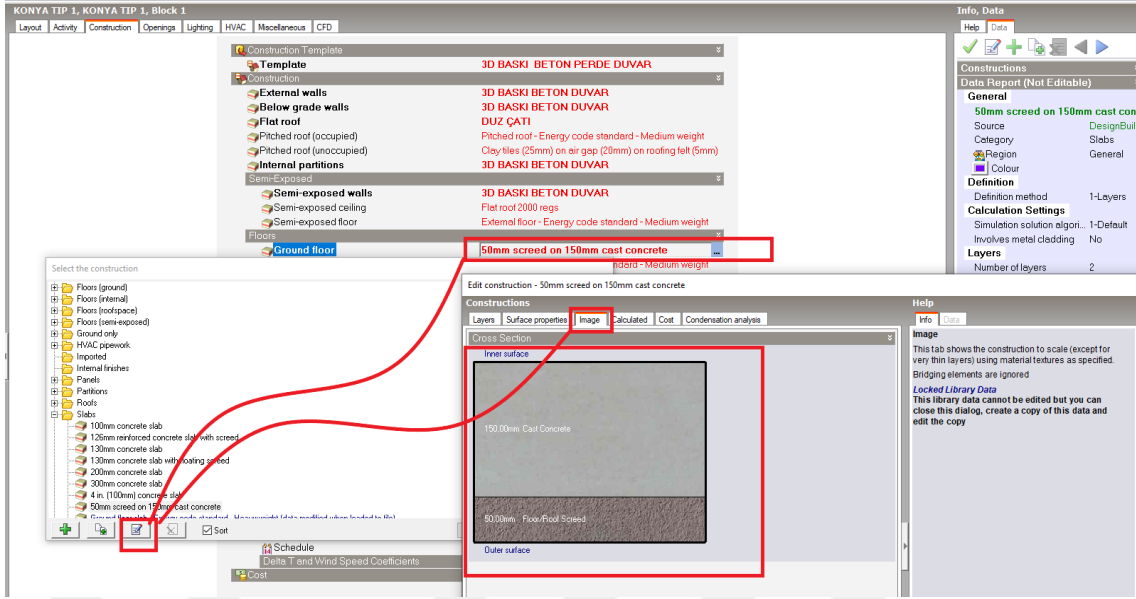
Konya tip 19-27 binalarının duvarlarının Mix 1- C6 200 mm polilaktik asit (E-PLA) yalıtım malzemeli olduğu farz edilerek modellenmiştir. Mix 1- C6 200 mm polilaktik asit (E-PLA) yalıtım malzemeli duvarı programa tanımlayabilmek için Konya tip 1 binası referans olarak alınmıştır. Duvar özellikleri tanımlanmış Konya tip 1 binası farklı kaydedilerek Mix 3 beton değeri Çizelge3.7’de belirtilen Mix 1 beton değerleri ile değiştirilmiştir. Böylelikle Mix 1- C6 200 mm polilaktik asit (E-PLA) yalıtım malzemeli yeni duvar programda oluşturulmuştur. Şekil 3.29’da gösterilmiştir. Design Builder programı Mix 1- C6 200 mm polilaktik asit (E-PLA) yalıtım malzemeli yeni duvarın toplam ısı transfer katsayısı $0,402 \text{ W/m}^2.\text{K}$ olarak hesaplanmıştır.



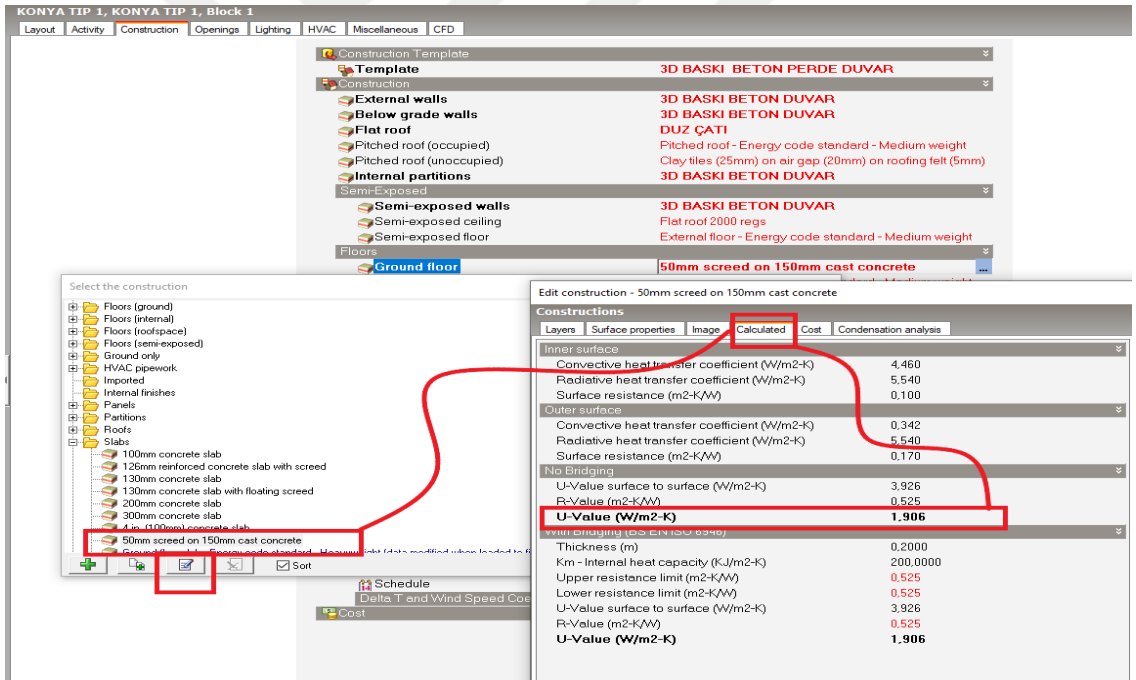
Şekil 3.29. Mix 1- C6 200 mm polilaktik asit (E-PLA) yalıtım malzemeli duvarın Design Builder programında tanımlanması (Yazar tarafından oluşturulmuştur)

3.4.4.2. Design Builder programında binanın temelini tanımlanması

Temel elemanlarının tanımlanması Design Builder programının ‘Düzenleme (Edit) bölümünün ‘Yapı (Construction)’ sekmesinden tanımlanmaktadır. 3D yazıcı ile oluşturulması düşünülen binanın temeli Şekil 3.30’da gösterildiği gibi 50 mm sel şapı, 150 mm ağır beton tanımlanmıştır. 27 farklı tip bina için de aynı temel tanımlanmıştır. Tanımlanan temelin toplam ısı transfer katsayısı $1,906 \text{ W/m}^2.\text{K}$ ‘tır ve Şekil 3.31’de gösterilmiştir.



Şekil 3.30. Design Builder programında yapının temelini tanımlanması (Yazar tarafından oluşturulmuştur)

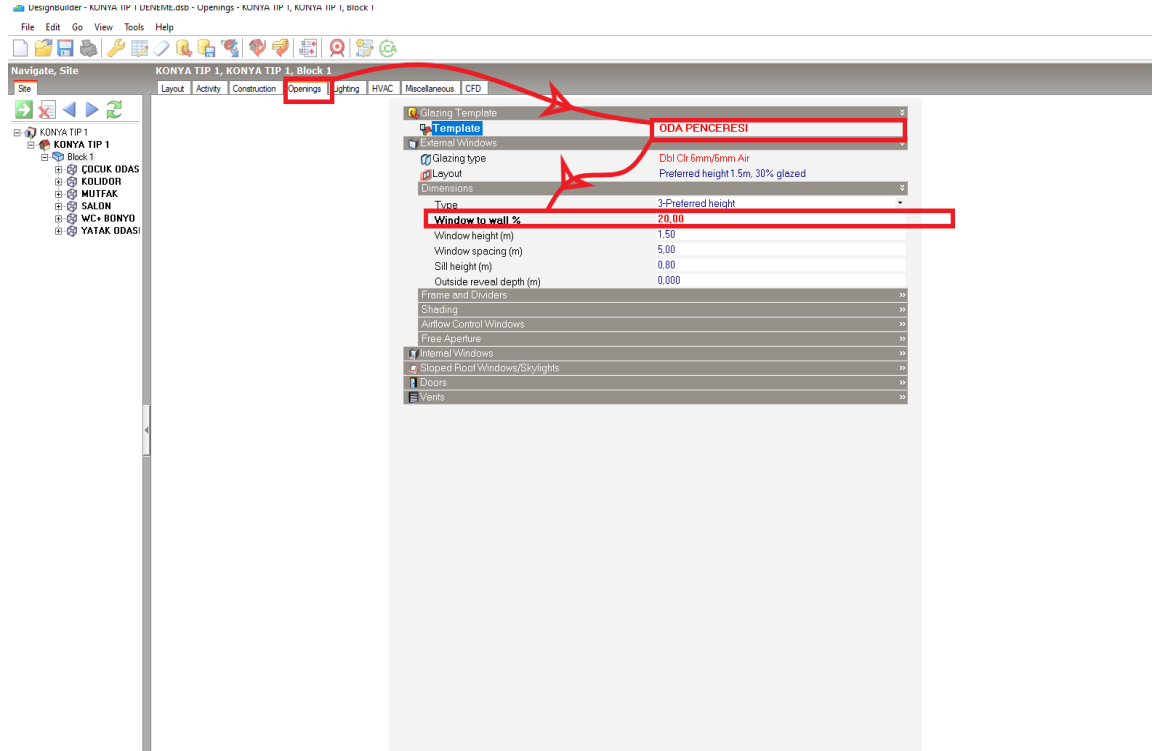


Şekil 3.31. Design Builder programında tanımlanan binanın temelini toplam ısı transfer katsayısı değerini gösterilmesi (Yazar tarafından oluşturulmuştur)

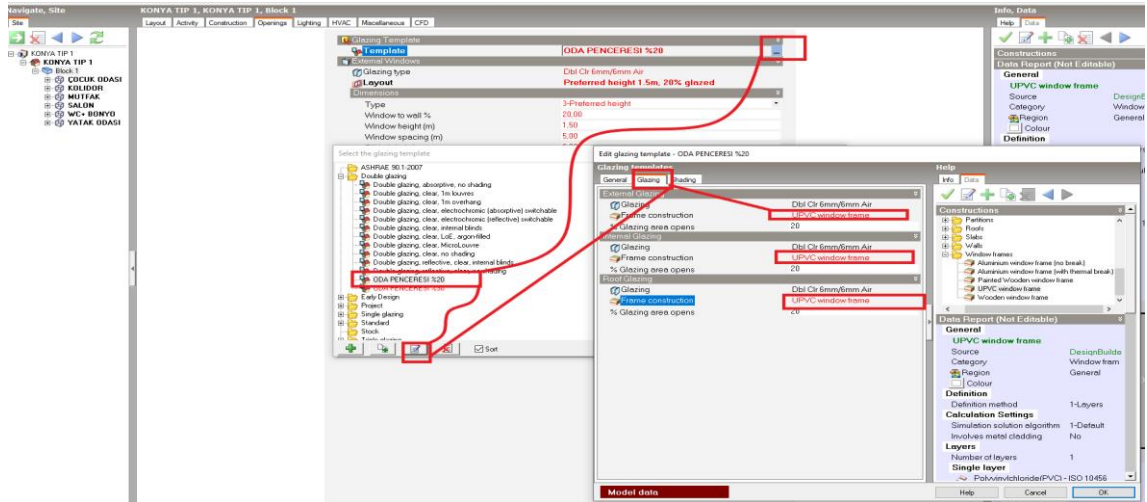
3.4.4.3. Design Builder programında binanın pencere ve kapı elemanlarının tanımlanması

Konya tip 1,4,7,10,13,16,19,22 ve 25 binalarının pencere / duvar oranı %20 olarak programda tanımlanmıştır. 27 farklı tip binanın cam tipi olarak Şekil 3.32'de gösterildiği gibi çift cam olan Dbl Clr 6 mm/6mm Air atanmış ve Şekil 3.33'te gösterildiği gibi PVC (Plastik polimer içerikli Polivinil klorür) pencere tanımlanmıştır.

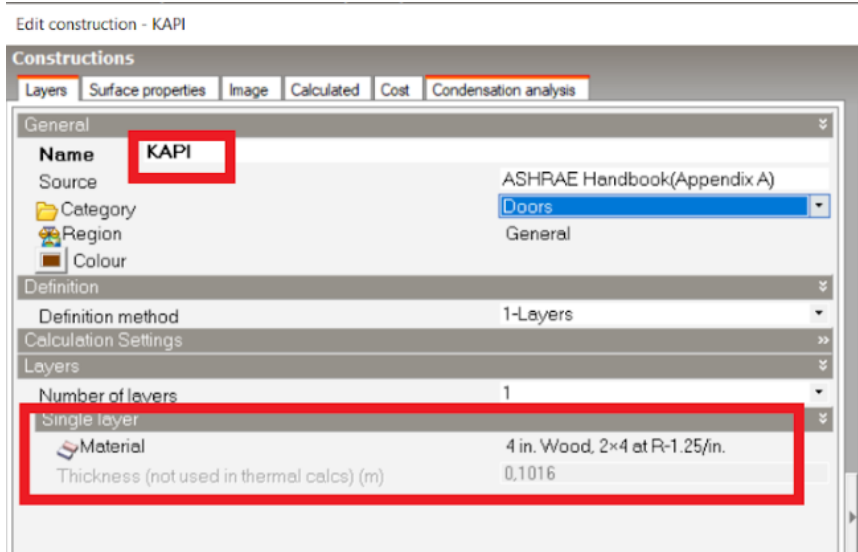
Şekil 3.34'te belirtildiği 27 tip binanın tüm kapıları programda yer alan şablondaki ahşap kapı tanımlanmıştır.



Şekil 3.32. Design Builder programında tanımlanan binanın pencere yüzdesinin tanımlanması (Yazar tarafından oluşturulmuştur)



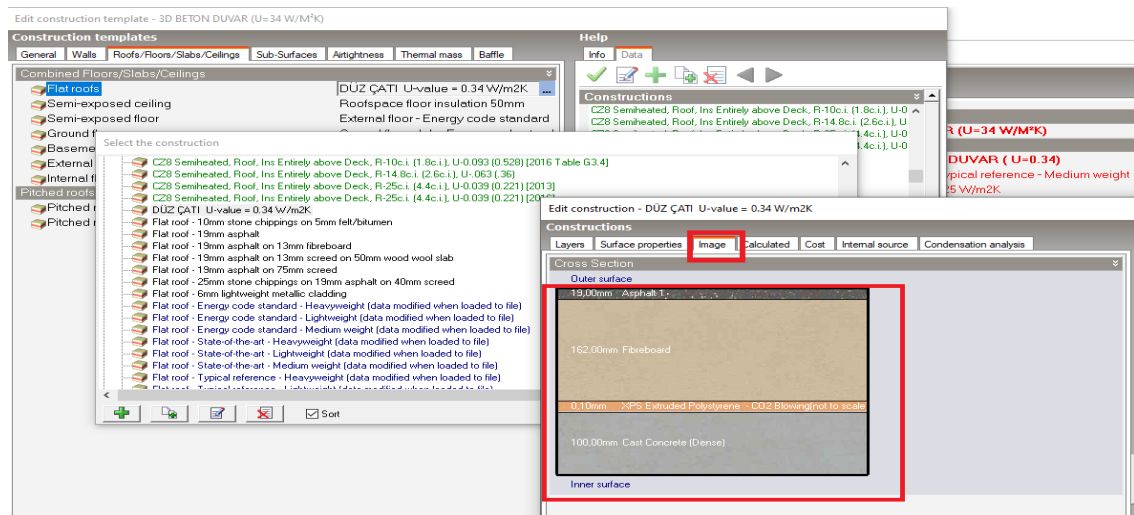
Şekil 3.33. Design Builder programında tanımlanan binanın pencerelerinin PVC olarak tanımlanması (Yazar tarafından oluşturulmuştur)



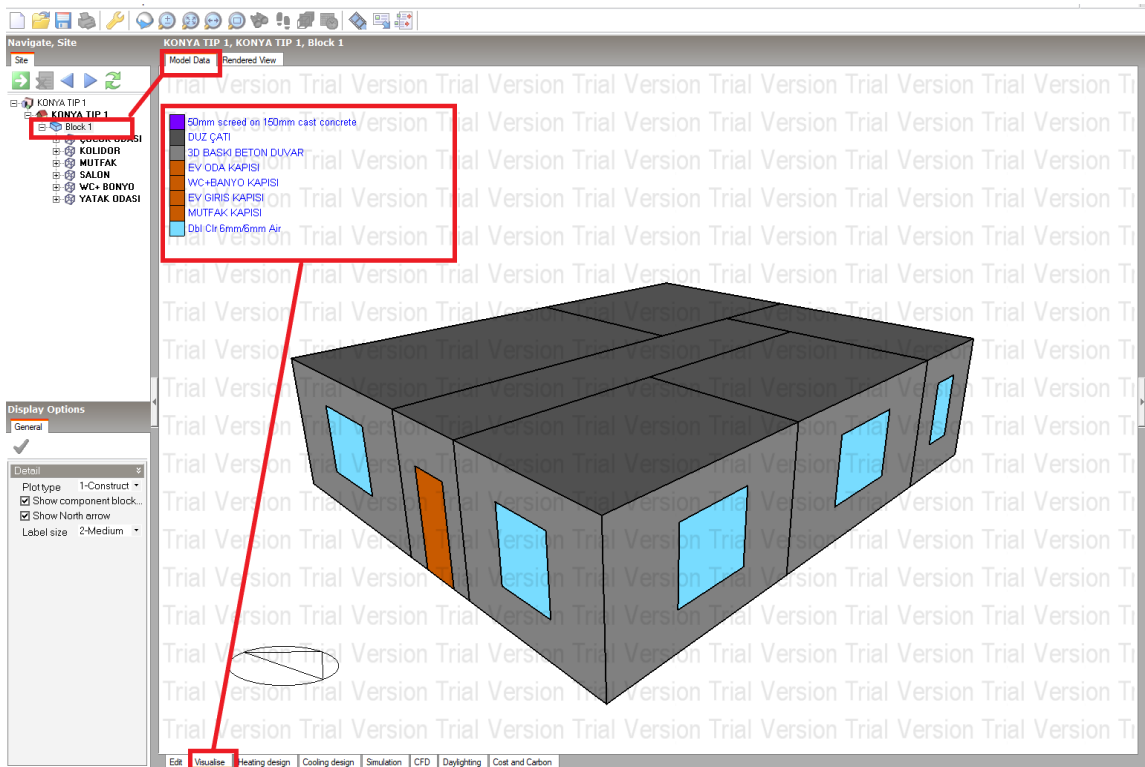
Şekil 3.34. Design Builder programında tanımlanan binanın kapı malzemesinin tanımlanması (Yazar tarafından oluşturulmuştur)

3.4.4.4. Design Builder programında binanın çatısının tanımlanması

Konya tip 1,2,3,10,11,12,19,20 ve 21 binaları düz çatı olarak modellenmiştir. Çatı döşemesinin 10 cm döşeme betonu (10 cm Cast Concrete Lightweight) olduğu farz edilmiştir. Döşeme betonun toplam ısı transfer katsayısı $2,480 \text{ W/m}^2\cdot\text{K}$ 'dır. Şekil 3.35'te belirtildiği gibi döşeme üstüne U değeri $0,373 \text{ W/m}^2\cdot\text{K}$ olan yalıtım katmanı uygulanmıştır. Modellenen düz çatının toplam ısı transfer katsayısı değeri program tarafından $0,34 \text{ W/m}^2\cdot\text{K}$ olarak hesaplanmıştır. Modellenen düz çatılı binaların örnek görseli Şekil 3.36'da gösterilmiştir.



Şekil 3.35. Design Builder programında düz çatı yapı elemanın tanımlanması (Yazar tarafından oluşturulmuştur)

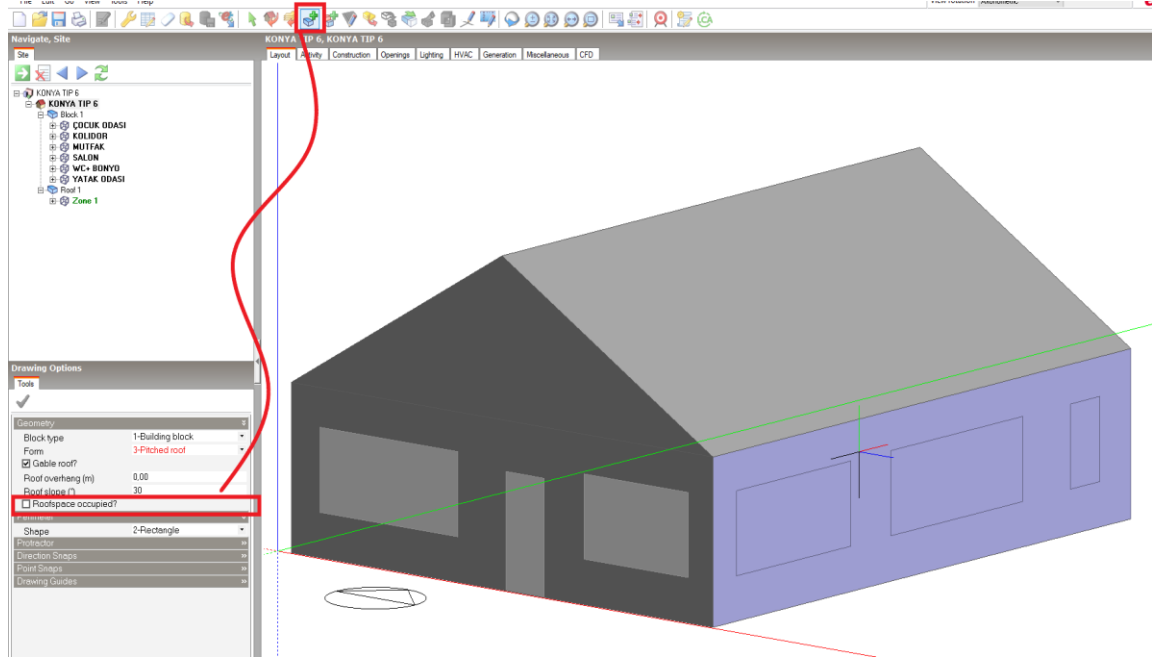


Şekil 3.36. Design Builder programında modellenen düz çatılı binaların örnek görseli (Yazar tarafından oluşturulmuştur)

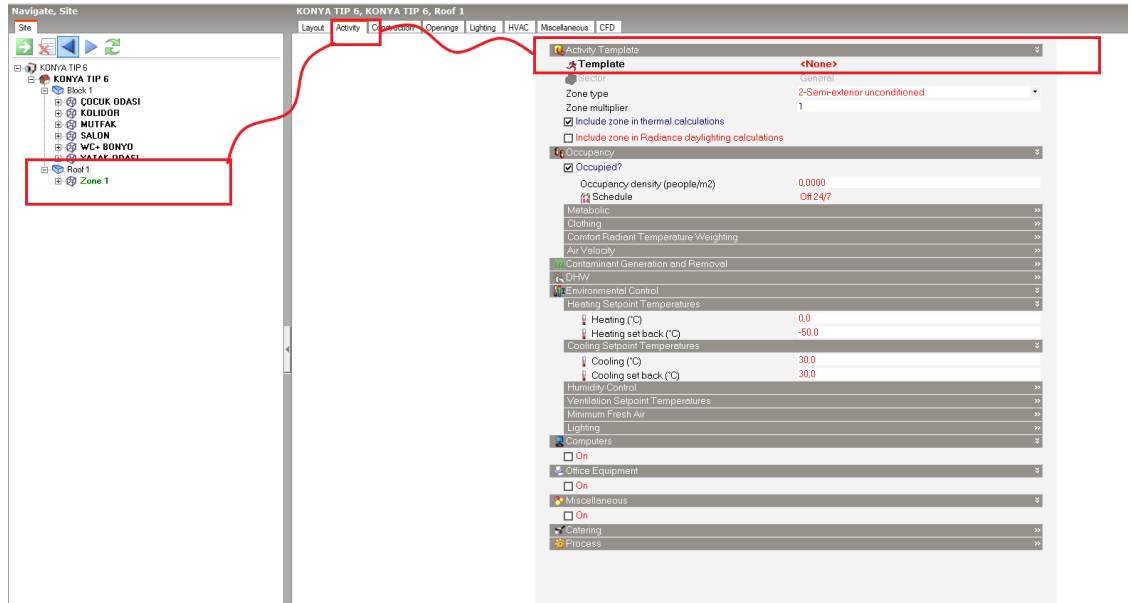
Konya tip 4,5,6,13,14,15,22,23 ve 24 binaları beşik çatı (1) olarak modellenmiştir. Çatı döşemesi toplam ısı transfer katsayısı $2,480 \text{ W/m}^2.\text{K}$ olan 10 cm döşeme betonu (10 cm Cast Concrete Lightweight) olduğu farz edilmiştir. Beşik çatıda U değeri $0,373 \text{ W/m}^2.\text{K}$ olan yalıtım katmanı uygulanmıştır. Beşik çatı (1)'lı binaların çatı katında yaşam alanı olmadığı düşünülerek tasarlanmış ve bu sebeple Şekil 3.37'de gösterildiği gibi 'Çatı alanı dolu mu? (Roofspace occupied?)' seçeneğini işaretlenmemiştir. Çatı eğimi 30 derece olarak alınmıştır. Şekil 3.38'de gösterildiği gibi çatı katında yaşam alanı tanımlanmadığından Design Builder programının 'aktivite (activity)' sekmesine baktığımızda herhangi bir hareket şablonu tanımlanmamıştır. Tüm binalarda çatı bloğunun kalkan duvarları 3D betonu olarak tanımlanmış ve penceresiz olarak modellenmiştir.

Konya tip 7,8,9,16,17,18,25,26 ve 27 binaları beşik çatı (2) olarak modellenmiştir. Çatı döşemesi toplam ısı transfer katsayısı $U=2,480 \text{ W/m}^2.\text{K}$ olan 10 cm döşeme betonu (10 cm Cast Concrete Lightweight) olduğu farz edilerek modellenmiştir. Beşik çatıda U değeri $0,373 \text{ W/m}^2.\text{K}$ olan yalıtım katmanı uygulanmıştır. Beşik çatı (2)'lı binaların çatı katında yaşam alanı olduğu düşünülerek tasarlanmış ve bu sebeple Şekil 3.39'da gösterildiği gibi 'Çatı alanı dolu mu?

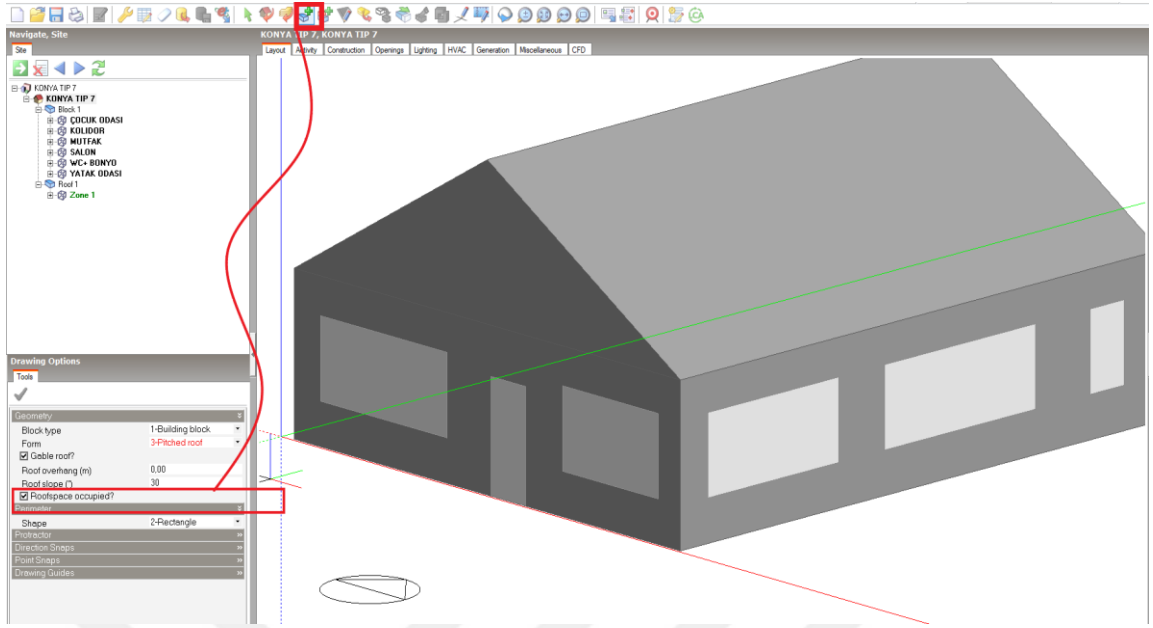
(Roofspace occupied)' seçeneğini işaretlenmiştir. Çatı eğimi 30 derece olarak alınmıştır. Çatı katında yaşam alanı var olduğu farz edilerek Design Builder programının aktivite sekmesine bakıldığında bir 'TM59_Studio' hareket şablonu tanımlanmıştır. Şekil 3.40'ta gösterilmiştir. Tüm binalarda çatı bloğunun kalkan duvarları 3D betonu olarak tanımlanmış ve penceresiz olarak modellenmiştir. Modellenen beşik çatılı binaların örnek görseli Şekil 3.41 ve Şekil 3.42'de gösterilmiştir.



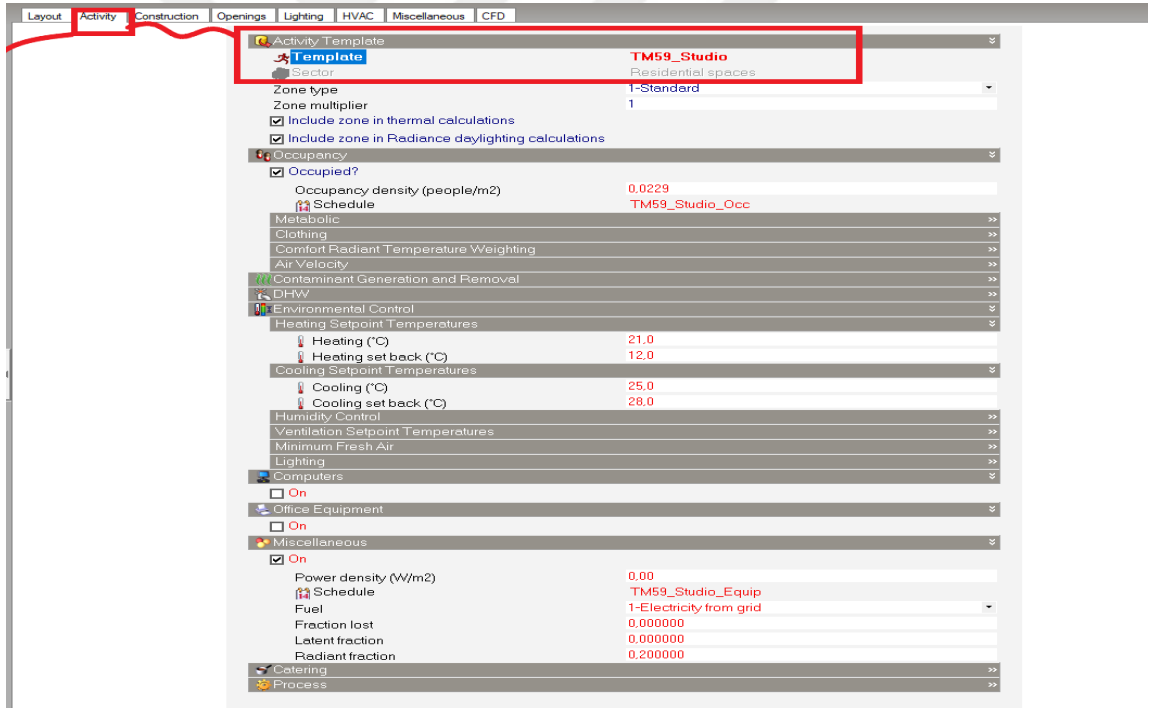
Şekil 3.37. Design Builder programında beşik çatı 1'in tanımlanması (Yazar tarafından oluşturulmuştur)



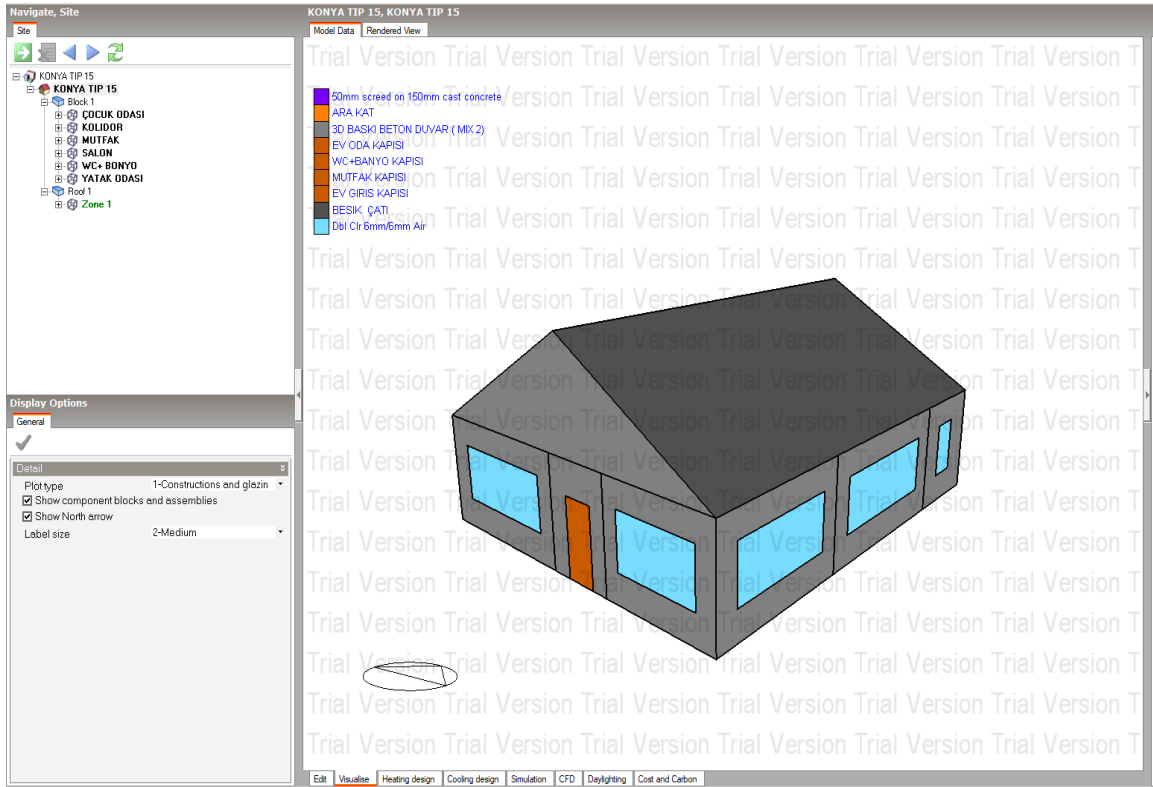
Şekil 3.38. Design Builder programında beşik çatı 1 bloğunun activity sekmesinin gösterimi (Yazar tarafından oluşturulmuştur)



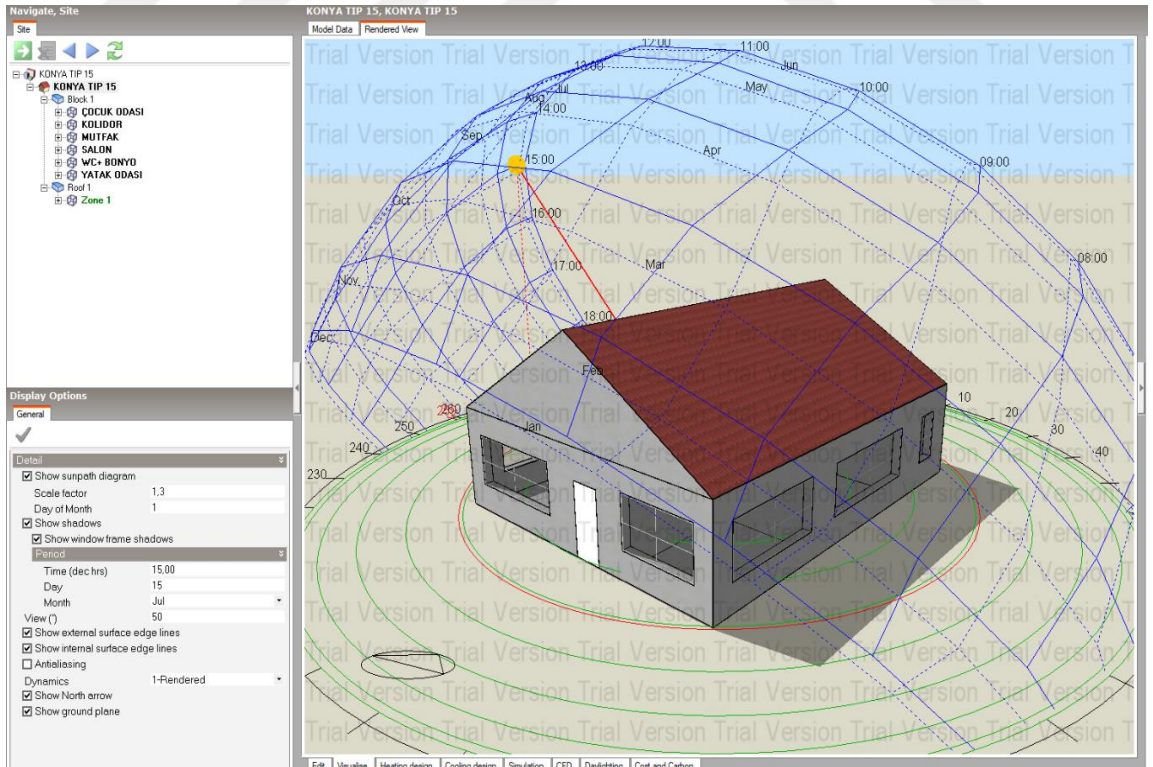
Şekil 3.39. Design Builder programında beşik çatı 2'in tanımlanması (Yazar tarafından oluşturulmuştur)



Şekil 3.40. Design Builder programında beşik çatı 2 bloğunun hareket (activity) sekmesinin gösterimi (Yazar tarafından oluşturulmuştur)



Şekil 3.41. Design Builder programında modellenen beşik çatılı binaların örnek görseli (Yazar tarafından oluşturulmuştur)



Şekil 3.42. Design Builder programında modellenen beşik çatılı binaların örnek görseli (Yazar tarafından oluşturulmuştur)

4. ANALİZ SONUÇLARIN KARŞILAŞTIRMALI DEĞERLENDİRMESİ

Tez çalışmasının bu bölümünde Design Builder programında yer alan Isıtma ve Soğutma Tasarımı analizlerin karşılaştırmalı değerlendirmesine yer verilmiştir.

4.1. Isıtma ve Soğutma Açısından Değerlendirme

Design Builder programındaki ısıtma ve soğutma tasarımı hesaplamaları, tasarım kış ve yaz koşullarını karşılamak için gerekli olan ısıtma ve soğutma tesisi için gerekli donanım boyutlarının belirlenmesinde yardımcı olmaktadır.

Isıtma ve soğutma analizi yapılmadan önce programdaki konum (Location) sekmesinde yer alan binanın konumu ve iklim verilerinin doğru tanımlanıp tanımlanmadığı kontrol edilmelidir. Isıtma ve soğutma tasarımı analizlerinin mantığı şu şekildedir: program konuma göre iklim verilerindeki hava koşulları arasında en soğuk ve en sıcak günleri tespit edebilmekte ve günlük zaman diliminde mekânların her birinin konfor sıcaklığına ulaşması için gerekli olan enerji miktarlarını her iki açıdan da hesaplayabilmektedir. Binanın konfor sıcaklığına ulaşabilmesi için o güne ait ısıtma ve soğutma için gerekli olan toplam enerji miktarlarını da bizlere verebilmektedir.

Isıtma tasarımı analiz sonuçları Excel ortamına aktarılmış olup Çizelge 4.1 'de örnek olarak verilmiştir. Çizelgede yer alan terimler şu şekilde açıklanabilir.

Blok 1:

Programda modellenen binalar tek katlı olup zemin kat bloğu (Blok 1) ve çatı bloğu olmak üzere 2 bloktan oluşmaktadır. Bu binaların soğutma ve ısıtma tasarımı analizleri Design Builder programında yapılmış olup parametrelerin ısıtma ve soğutma enerji miktarlarına etkisini tam anlamıyla görebilmek için sadece zemin kat bloğu (Blok 1) ele alınmıştır.

Konfor sıcaklığı (°C):

Bireylerin buldukları mekânlarda gerek bedensel gerekse zihinsel faaliyetlerini rahatlıkla sürdürebilmesi için ihtiyaç duydukları ortam sıcaklığıdır.

Mekân:

Çizelgelerde belirtilen mekanlar, modellenen binanın odalarıdır. Bölüm 3.3.2'de ve Bölüm 3.3.3'te mekanların nasıl tanımlandığı detaylı olarak açıklanmıştır.

Kararlı Hal Isı Kaybı (kW):

Konfor sıcaklığı mekanların kararlı hal durumudur. Mekânın hava durumu koşullarına göre ortam sıcaklıkları değişmektedir. Bu değişimden kaynaklı ısı kaybı gerçekleşmektedir. Mekanlarda gerçekleşen bu kayıp programda kararlı hal ısı kaybı

olarak adlandırılmıştır. Konfor sıcaklığına ulaşması için gerekli olan enerji miktarı kaybedilen kararlı hal ısı kaybına eşdeğerdir.

Tasarım Kapasitesi:

Gerekli olan ısıtma enerjisi toplam kararlı hal ısı kaybına eşdeğerdir. Design Builder programında tasarım marjı, 1,25 olarak alınmıştır. Yani gerekli olan enerji miktarlarının %25 artırılmış hali tasarım kapasite olarak adlandırılmaktadır. %25 olarak artırılmasını sebebi ısıtma sistemi gece boyunca veya hafta sonu boyunca kapatıldığı olasılıkları düşünerek konfor sıcaklığı ulaşması için gerekli olan ısınma süre miktarını azaltmak için gereken ek ısıtma enerjisi miktarıdır.

Cam Kazançları:

Camlar, dış hava ile etkileşime sahip dış cephe elemanlarından biridir. Dış ortam sıcaklığı ile iç ortam sıcaklığının farklı olması sebebiyle camlar üzerinden ısı transfer gerçekleşir. Mekanlar konfor sıcaklığında sabit kalmaya çalışırken camlar ile iç ortamdan dış ortama enerji geçişi gerçekleşmişse bu bir kayıptır ve cam kazançları negatif değer olarak gösterilir.

Duvar Kazançları:

Duvarlar da dış hava ile etkileşime sahip dış cephe elemanlarından biridir. Dış ortam sıcaklığı ile iç ortam sıcaklığının farklı olması sebebiyle duvarlar üzerinden ısı transfer gerçekleşir. Mekanlar konfor sıcaklığında sabit kalmaya çalışırken duvarlar tarafından iç ortamdan dış ortama enerji geçişi gerçekleşmişse bu da bir kayıptır ve negatif olarak gösterilir.

Kat kazançları:

Binanın döşemesinde gerçekleşen ısı transferin kavramsal tanımıdır. İç ve dış ortamdaki ısı farklı sebebiyle gerçekleşen ısı transferi yapı bloğunun içine doğru ise bu değer pozitif; tam tersi şeklinde gerçekleşiyorsa bu bir ısı kayıptır ve negatif olarak gösterilir.

Çatı ve Tavan kazançları:

Çatı bloğu ile zemin bloğu arasındaki ısı transfer binanın tavan elemanı ile gerçekleşir. Zemin bloğundan çatıya doğru tavan elemanı üzerinden bir geçiş mevcutsa bu bir kayıptır ve bu değer negatiftir.

Havalandırma kazançları:

Açık iç pencereler, kapılar, delikler gibi binanın havalandırmasını sağlayan yapı bloğu elemanları sebebiyle ısı transfer gerçekleşir. Yapı bloğundan dış ortama ısı geçişi mevcutsa bu bir kayıptır ve negatif olarak gösterilir.

Sızma kazançları:

Hava sızdırmazlık (airtightness), bina kabuğunda ısı kaybına neden olan etkenlerden biridir. Binanın ısıtma enerjisi performansına etki eden hava sızdırmazlığının oluşmasında, işçilik kalitesinin düşük olması önemli sebeplerdendir. Bina enerji performansı açısından bina kabuğunda kullanılan malzemelerin etkisinin yanı sıra uygulama aşamasındaki işçilik kalitesinin yüksek olması gerekmektedir.

Bu tez çalışmasında modellenen binalarda sızdırmazlık oranı 0,5 (Ac/h) alınmıştır. Sızma sebebiyle oluşan ısı transfer bina bloğundan dış ortama doğru ise bu bir ısı kayıptır ve bu değer negatif olarak gösterilir.

Çizelge 4.1. Konya Tip 7 (Mix 3 beton karışımı, yaşam alanı tanımlı Beşik Çatı 2, %20 pencere) binasının ısıtma tasarımı analizinin sonuç Excel tablosu (Yazar tarafından oluşturulmuştur)

Bina	Blok	Mekan	Konfor Sıcaklığı (°C)	Kararlı Hal Isı Kaybı (kW)	Aralıklı Isı Kaybı (kW)	Tasarım Kapasitesi (kW)	Tasarım Kapasitesi (W/m ²)	Cam Kazançları (kW)	Duvar Kazançları (kW)	Kat kazançları (kW)	Çatı ve Tavan Kazançları (kW)	Havalandırma Kazançları (kW)	Sızma Kazançları (kW)
KONYA TIP 7	Blok 1	KOLIDOR	17,710	0,5	0	0,62	396,359	0	-0,182	0,023	0,005	-0,102	-0,242
KONYA TIP 7	Blok 1	ÇOCUK ODASI	17,080	0,69	0	0,86	676,866	-0,292	-0,198	0,063	0,032	-0,096	-0,195
KONYA TIP 7	Blok 1	YATAK ODASI	17,480	0,61	0	0,76	517,755	-0,197	-0,131	0,04	0,017	-0,11	-0,225
KONYA TIP 7	Blok 1	SALON	19,410	1,540	0	1,930	713,250	-0,479	-0,338	-0,026	-0,058	-0,183	-0,456
KONYA TIP 7	Blok 1	MUTFAK	16,940	1,070	0	1,340	712,489	-0,189	-0,575	0,103	0,055	-0,176	-0,29
KONYA TIP 7	Blok 1	WC+ BONYO	17,130	0,66	0	0,83	775,924	-0,292	-0,205	0,052	0,026	-0,079	-0,164
ARA TOPLAM (BLOK)				5,070	0	6,340	3,792,643	-1,449	-1,629	0,255	0,077	-0,746	-1,572
KONYA TIP 7	Çatı	ÇATI	19,010	3,910	0	4,890	467,442	0	-0,315	-0,077	-1,878	-0,866	-0,778
TOPLAM (BLOK+ROOF)				8,980	0	11,230	4,260,085,000	-1,449	-1,944	0,178	-1,877,923	-1,612	-2,350

Not * : $5,07 \times 1,25 = 6,34$ (Tasarım kapasitesi, kararlı hal ısı kaybının %25 oranında artırılması ile elde edilir. Tasarım marjı 1,25 alınmıştır).


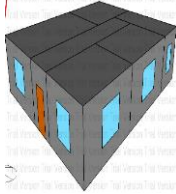



Bölüm 3.3'te açıklandığı ve Çizelge 4.2'de ve Çizelge 4.3' gösterildiği gibi 27 tip bina çatı özellikleri yönünden düz çatı, yaşam alanı içermeyen beşik çatı (Beşik çatı 1) ve yaşam alanı içeren beşik çatı (Beşik çatı 2) olmak üzere 3 farklı türde tasarlanmıştır. Binaların Pencere/duvar oranları: %20, %30, %40 olarak alınmış ve programda ayrı ayrı tanımlanmıştır. Tüm binaların duvarları C6(200) konfigürasyonu baz alınmıştır. Ayrıca binaların üretiminde Bölüm 3.2'de açıklanan referans

çalışmasındaki mix1, mix2, mix3 beton türleri esas alınmış ve duvar ara boşluklarında E PLA yalıtım malzemesi kullanıldığı varsayılarak modellenmiştir. Kısacası binalar çatı tipi yönünden 3 farklı sekmede incelenmiş kendi aralarında da 3 adet farklı tip pencere/duvar oranı yüzdeleri ve duvarlarda kullanılan 3 adet farklı beton türü olmak üzere farklı kombinasyonlarla binalar tasarlanmıştır.


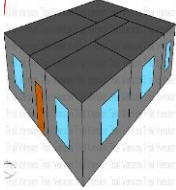




Bölüm 4.1’de açıklandığı üzere binanın konfor sıcaklığına ulaşması için gerekli olan enerji miktarının %25 olarak arttırılmış hali tasarım kapasite değeri olarak adlandırılmaktadır.

Modellenen 27 farklı binanın yaz ve kış tasarımına göre en sıcak ve en soğuk güne ait binaların ısıtılması ve soğutulması için gerekli olan enerji miktarları tasarım kapasitesi adı altında Çizelge 4.2 ve Çizelge 4.3’te yer verilmiştir.

Çizelge 4.2. Design Builder ortamında modellenen 27 Farklı tip binanın Isıtma Tasarımı analizi sonucundaki blok Tasarım Kapasitesi (kW) yüklerinin genel gösterimi

DUVAR TİPİ C6 (200)	ÇATI TİPİ	BİNA TİPİ	DUVAR ÖZELLİKLERİ	PENCERE /DUVAR ORANI %20	PENCERE/DUVAR ORANI %30	PENCERE/ DUVAR ORANI %40
	DÜZÇATI		C6 (200) MIX 3 BETON + EPLA YALITIM MALZEMELİ U=0,34 W/m²K	TIP 1	TIP 2	TIP 3
				7,97	8,48	9,00
			C6 (200) MIX 2 BETON + EPLA YALITIM MALZEMELİ U=0,395 W/m²K	TIP 10	TIP 11	TIP 12
				8,15	8,66	9,15
			C6 (200) MIX 1 BETON + EPLA YALITIM MALZEMELİ U=0,402 W/m²K	TIP 19	TIP 20	TIP 21
				8,17	8,67	9,17
	YAŞAM ALANI TANIMSIZ BEŞİK ÇATI 1		C6 (200) MIX 3 BETON + EPLA YALITIM MALZEMELİ U=0,34 W/m²K	TIP 4	TIP 5	TIP 6
				8,55	9,06	9,57
			C6 (200) MIX 2 BETON + EPLA YALITIM MALZEMELİ U=0,395 W/m²K	TIP 13	TIP 14	TIP 15
				8,74	9,26	9,75
			C6 (200) MIX 1 BETON + EPLA YALITIM MALZEMELİ U=0,402 W/m²K	TIP 22	TIP 23	TIP 24
				8,79	9,29	9,77
	YAŞAM ALANI TANIMLI BEŞİK ÇATI 2		C6 (200) MIX 3 BETON + EPLA YALITIM MALZEMELİ U=0,34 W/m²K	TIP 7	TIP 8	TIP 9
				6,34	6,82	7,31
			C6 (200) MIX 2 BETON + EPLA YALITIM MALZEMELİ U=0,395 W/m²K	TIP 16	TIP 17	TIP 18
				6,5	6,99	7,47
			C6 (200) MIX 1 BETON + EPLA YALITIM MALZEMELİ U=0,402 W/m²K	TIP 25	TIP 26	TIP 27
				6,53	7,01	7,48

Çizelge 4.3. Design Builder ortamında modellenen 27 Farklı tip binanın Soğutma Tasarımı analizi sonucundaki blok Tasarım Kapasitesi (kW) yüklerinin genel gösterimi

DUVAR TİPİ C6 (200)	ÇATI TİPİ	BİNA TİPİ	DUVAR ÖZELLİKLERİ	PENCERE/DUVAR ORANI %20	PENCERE/DUVAR ORANI %30	PENCERE/DUVAR ORANI %40
	DÜZ ÇATI		C6 (200) MİX 3 BETON + EPLA YALITIM MALZEMELİ U=0,34 W/m²K	TIP 1	TIP 2	TIP 3
				5,49	7,96	10,32
			C6 (200) MİX 2 BETON + EPLA YALITIM MALZEMELİ U=0,395 W/m²K	TIP 10	TIP 11	TIP 12
				5,38	7,66	9,99
			C6 (200) MİX 1 BETON + EPLA YALITIM MALZEMELİ U=0,402 W/m²K	TIP 19	TIP 20	TIP 21
				5,41	7,69	10,02
	YAŞAM ALANI TANIMSIZ BEŞİK ÇATI 1		C6 (200) MİX 3 BETON + EPLA YALITIM MALZEMELİ U=0,34 W/m²K	TIP 4	TIP 5	TIP 6
				4,91	7,35	9,68
			C6 (200) MİX 2 BETON + EPLA YALITIM MALZEMELİ U=0,395 W/m²K	TIP 13	TIP 14	TIP 15
				4,82	7,16	9,41
			C6 (200) MİX 1 BETON + EPLA YALITIM MALZEMELİ U=0,402 W/m²K	TIP 22	TIP 23	TIP 24
				4,84	7,18	9,43
	YAŞAM ALANI TANIMLI BEŞİK ÇATI 2		C6 (200) MİX 3 BETON + EPLA YALITIM MALZEMELİ U=0,34 W/m²K	TIP 7	TIP 8	TIP 9
				4,91	7,25	9,51
			C6 (200) MİX 2 BETON + EPLA YALITIM MALZEMELİ U=0,395 W/m²K	TIP 16	TIP 17	TIP 18
				4,77	7,06	9,24
			C6 (200) MİX 1 BETON + EPLA YALITIM MALZEMELİ U=0,402 W/m²K	TIP 25	TIP 26	TIP 27
				4,81	7,09	9,26

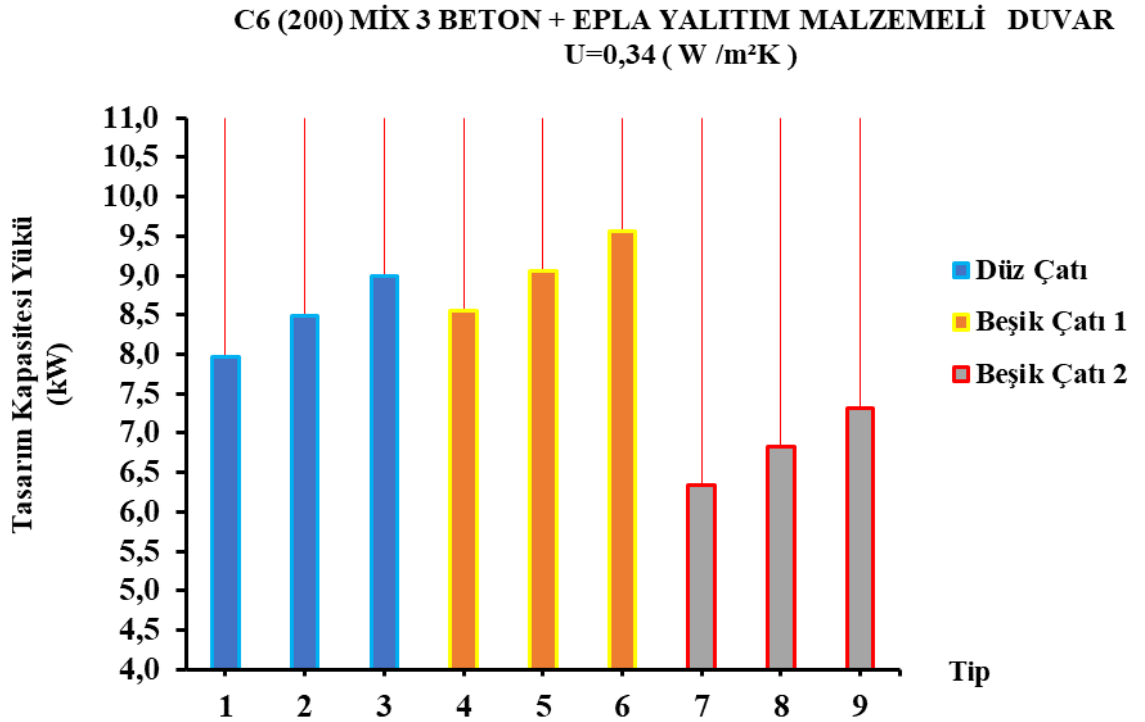
4.2. Araştırma Sonuçların Karşılaştırılması

Bölüm 4.2’de Çizelge 4.3 ve Çizelge 4.4’te verilen değerler duvarlarda kullanılan beton karışım çeşitlerine ve çatı tiplerine göre kendi aralarında sınıflandırılarak bölüm 4.2.1’den bölüm 4.2.3’e kadar blok tasarım kapasite değerleri sütun grafiği olarak karşılaştırılmıştır.

Bölüm 4.1’de belirtildiği gibi tasarım kapasite değeri binaların ısıtılması ve soğutulması için gerekli olan enerji miktarının %25 artırılmış değerdir.

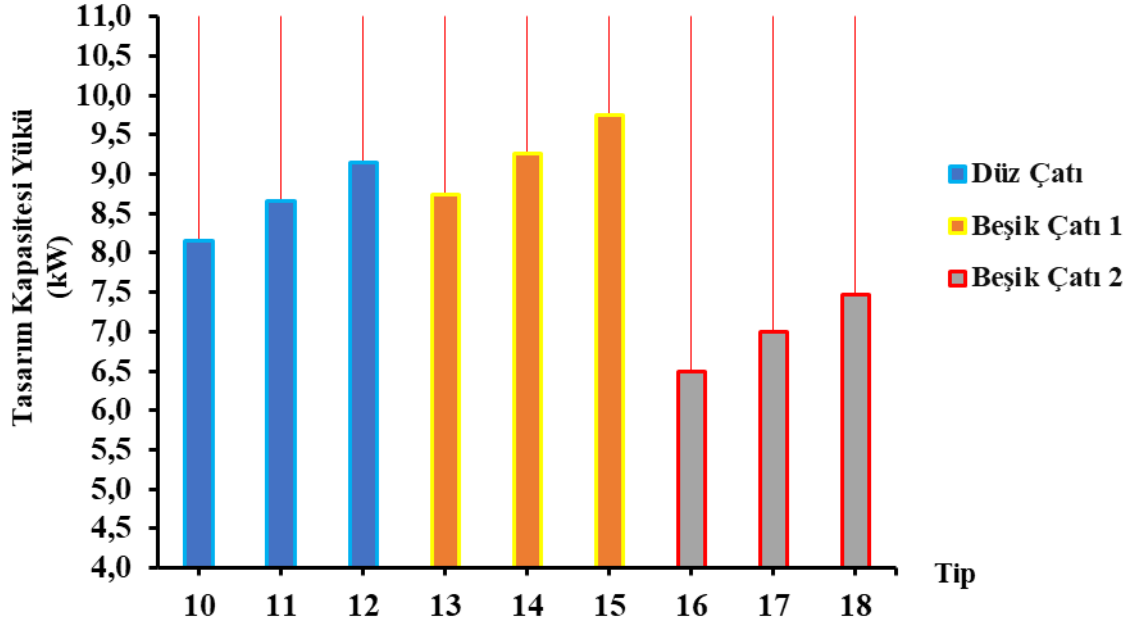
4.2.1. Isıtma Tasarımı analizi sonucundaki blok tasarım kapasitesi (kW) yüklerinin çatı tipleri yönünden karşılaştırılması

Şekil 4.1, Şekil 4.2 ve Şekil 4.3’te binalar duvarlarında kullanılan beton karışım türlerine göre 3 ayrı grafikte sınıflandırılmış ve kendi aralarında çatı türü ve pencere yüzdelere göre Isıtma Tasarımı analizi sonucundaki tasarım kapasite değerleri karşılaştırılmıştır.



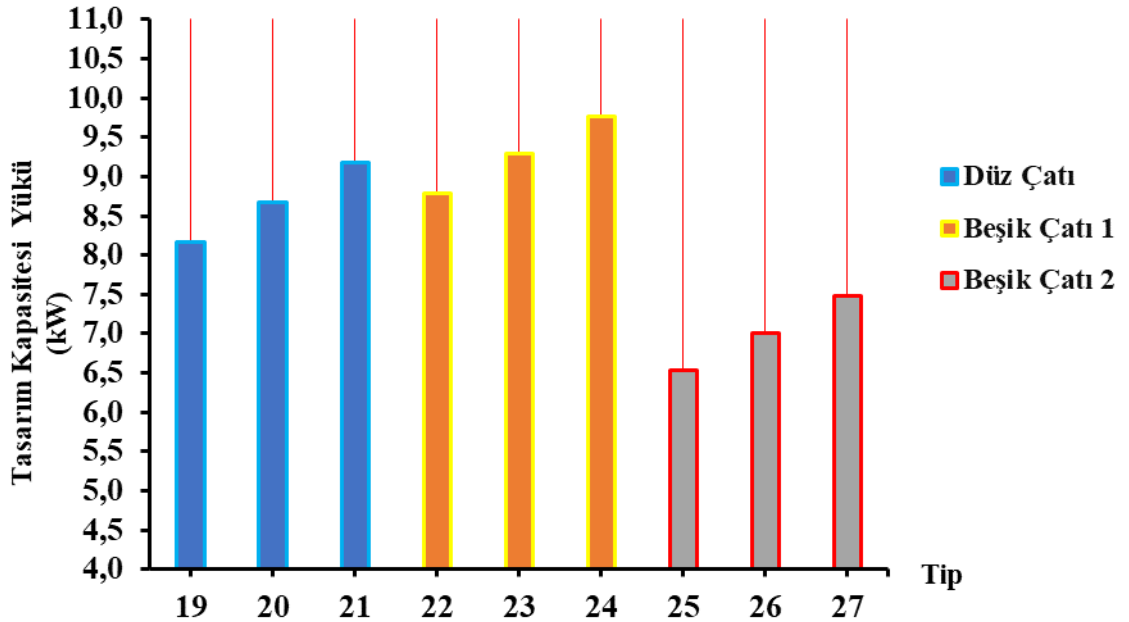
Şekil 4.1. Mix 3 beton karışımı bina modellerinin blok Isıtma Tasarımı tasarım kapasitesi yüklerinin karşılaştırılması (Yazar tarafından oluşturulmuştur)

C6 (200) MİX 2 BETON + EPLA YALITIM MALZEMELİ DUVAR
 $U=0,395 (W /m^2K)$



Şekil 4.2. Mix 2 beton karışımı bina modellerinin blok Isıtma Tasarımı tasarım kapasitesi yüklerinin karşılaştırılması (Yazar tarafından oluşturulmuştur)

C6 (200) MİX 1 BETON + EPLA YALITIM MALZEMELİ DUVAR
 $U=0,402 (W /m^2K)$



Şekil 4.3. Mix 1 beton karışımı bina modellerinin blok Isıtma Tasarımı tasarım kapasitesi yüklerinin karşılaştırılması (Yazar tarafından oluşturulmuştur)

Şekil 4.1'den Şekil 4.3'e kadar incelendiğinde çatı tipleri yönünden kıyaslandığında da yaşam alanı tanımlı beşik çatı 2'li binaların diğer çatı tiplerine sahip olan binalara kıyasla daha az enerjiye ihtiyaç duyduğu gözlemlenmiştir. *Bu açıdan Hipotez 1 desteklenmektedir.* Başka bir ifade ile çatı tipi enerji tüketiminde önemli bir parametredir.

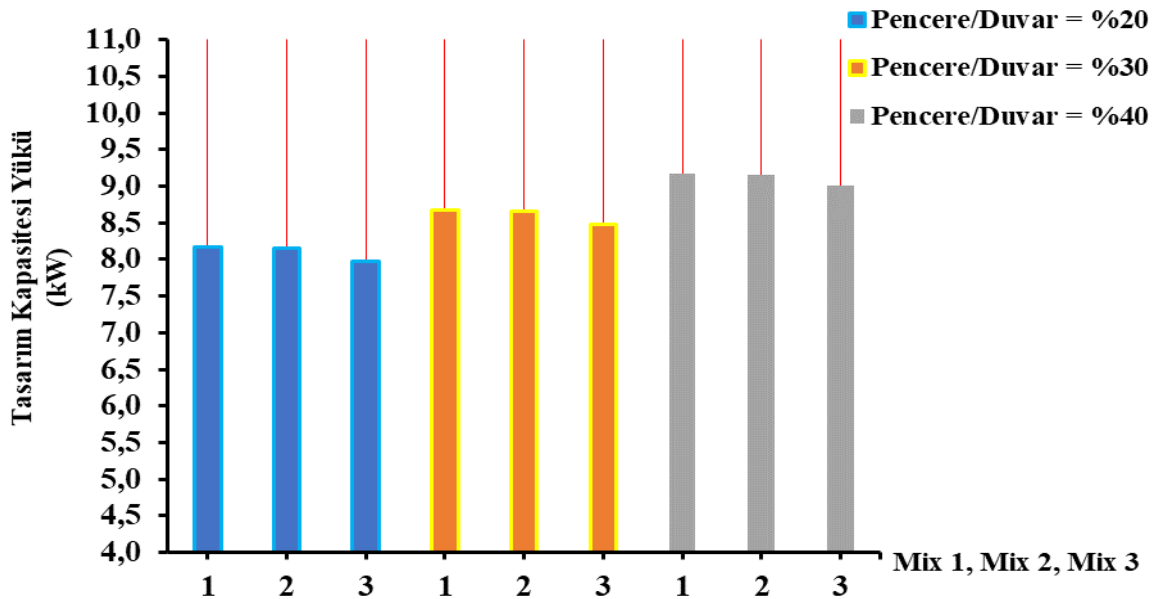
Grafikler incelendiğinde en iyi performans gösteren bina tipinin en az tasarım kapasitesi değerine sahip olan Mix 3 betonu kullanılan, %20 pencere/duvar oranına sahip, çatısı yaşam alanı tanımlanmış beşik çatı 2'den oluşan Konya tip 7 binası olduğu tespit edilmiştir.

En kötü performans gösteren bina tipinin en fazla tasarım kapasitesi değerine sahip olan Mix 1 betonu kullanılan, %40 pencere/duvar oranına sahip, çatısı yaşam alanı tanımlanmamış beşik çatı 1'den oluşan Konya tip 24 binası olduğu tespit edilmiştir.

4.2.2. Isıtma Tasarımı analizi sonucundaki blok tasarım kapasitesi (kW) yüklerinin beton çeşitleri ve pencere yüzdeleri yönünden binaların karşılaştırılması

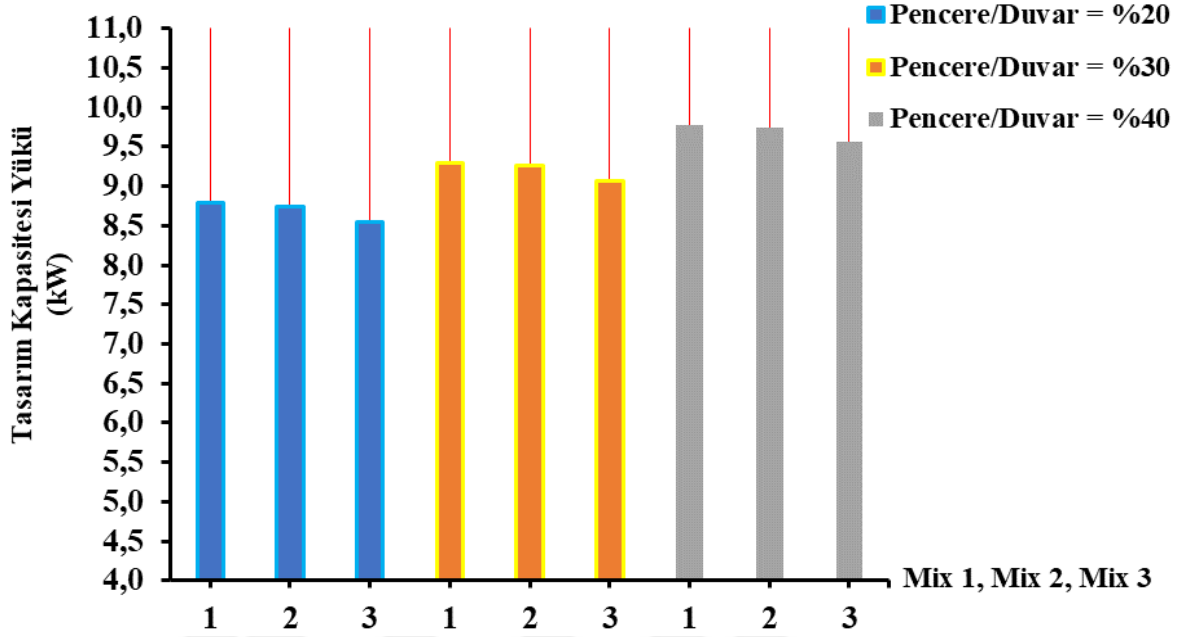
Şekil 4.4, Şekil 4.5 ve Şekil 4.6'da binalar çatı türlerine göre 3 ayrı grafikte sınıflandırılmış ve kendi aralarında beton çeşitleri ve pencere yüzdelerine göre değişen ısıtma tasarımı analizi sonucundaki tasarım kapasite değerleri karşılaştırılmıştır.

DÜZ ÇATILI BİNALARIN ISITMA TASARIMI TASARIM KAPASİTESİ YÜKLERİNİN KARŞILAŞTIRILMASI (kW)



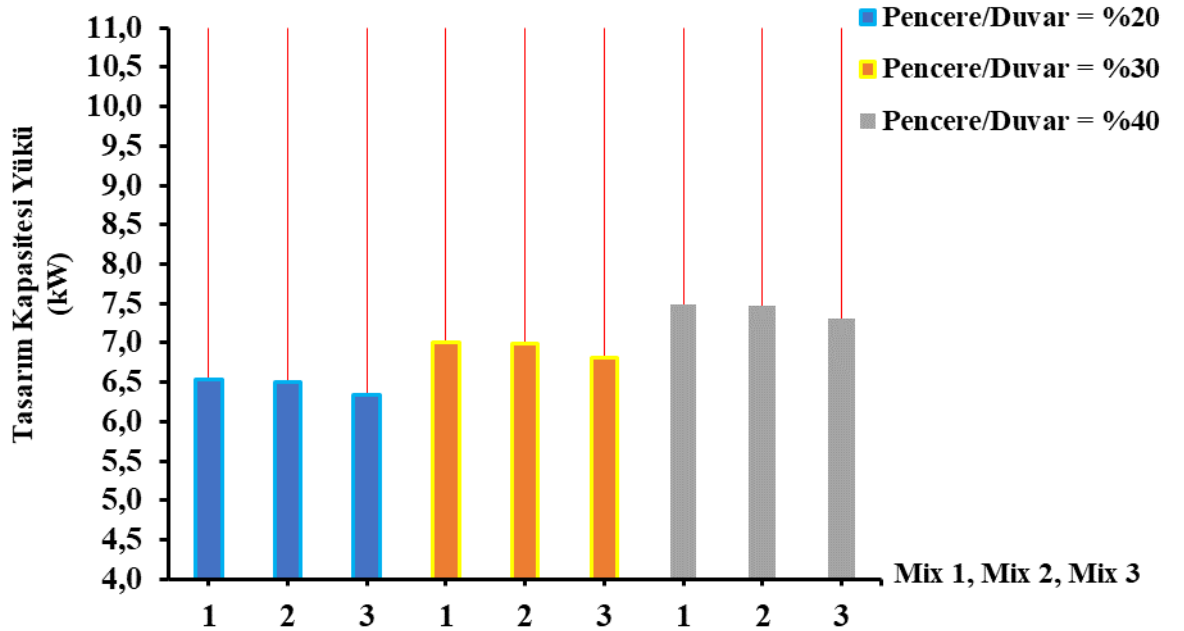
Şekil 4.4. Düz çatılı binaların blok Isıtma Tasarımı tasarım kapasitesi yüklerinin karşılaştırılması (Yazar tarafından oluşturulmuştur)

BEŞİK ÇALI 1'Lİ BİNALARIN ISITMA TASARIMI TASARIM KAPASİTESİ YÜKLERİNİN KARŞILAŞTIRILMASI (kW)



Şekil 4.5. Beşik çatı 1'li binaların blok Isıtma Tasarımı tasarım kapasitesi yüklerinin karşılaştırılması (Yazar tarafından oluşturulmuştur)

BEŞİK ÇALI 2'Lİ BİNALARIN ISITMA TASARIMI TASARIM KAPASİTESİ YÜKLERİNİN KARŞILAŞTIRILMASI (kW)



Şekil 4.6. Beşik çatı 2'li binaların blok Isıtma Tasarımı tasarım kapasitesi yüklerinin karşılaştırılması (Yazar tarafından oluşturulmuştur)

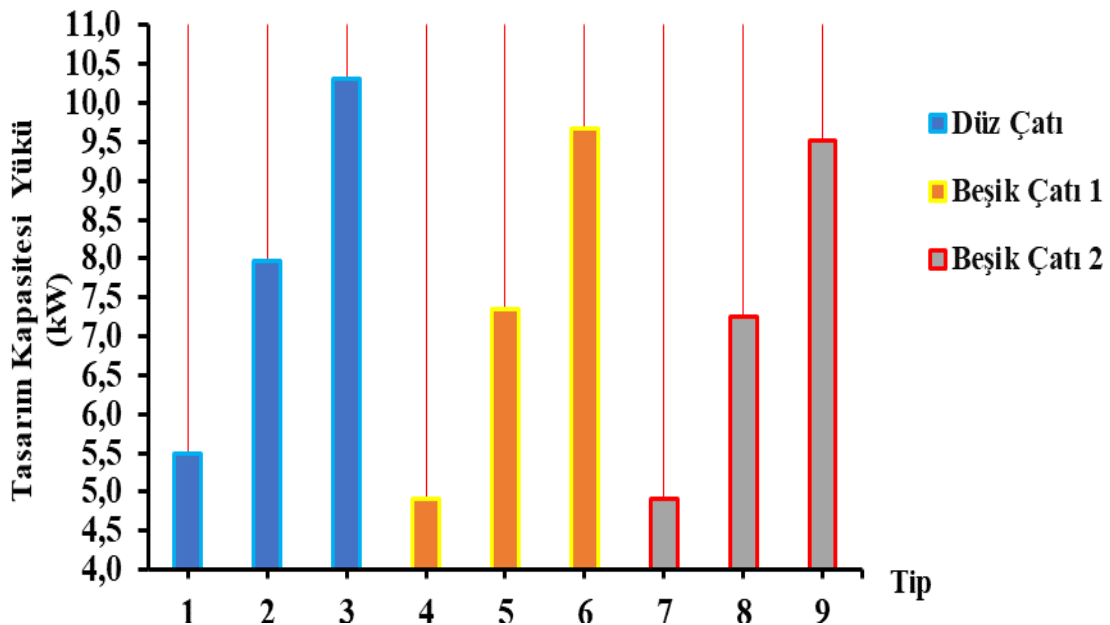
Grafikler incelendiğinde tüm bina tipleri için de pencere/duvar oranı yüzdesi arttıkça ihtiyaç olan enerji miktarı arttığı gözlemlenmiştir. *Verilere göre Hipotez 2 desteklenmektedir.* Başka bir ifade ile bina dış cephesinde bulunan pencerelerinin duvar alanına oranı enerji verimliliği için önemli bir parametredir.

Binalarda kullanılan beton türleri açısından kıyaslandığında da beton toplam ısı transfer katsayı değeri arttıkça binaların konfor sıcaklığına ulaşması için ihtiyaç duyulan ısıtma enerjisinin arttığı; 3 farklı beton karışım türü kullanılan binalar arasından Mix 3 ($U= 0,34 \text{ W/m}^2\text{K}$) beton kullanılan binaların Mix 2 ($U= 0,395 \text{ W/m}^2\text{K}$)'e ve Mix 1 ($U= 0,402 \text{ W/m}^2\text{K}$) beton kullanılan binalara göre daha az ısıtma enerjisine ihtiyaç duyduğu gözlemlenmiştir. *Verilenlere göre Hipotez 3 desteklenmektedir.* Başka bir ifade ile duvarlarda kullanılacak betonun toplam ısı transfer katsayısı değeri enerji verimliliği için önemli bir parametredir.

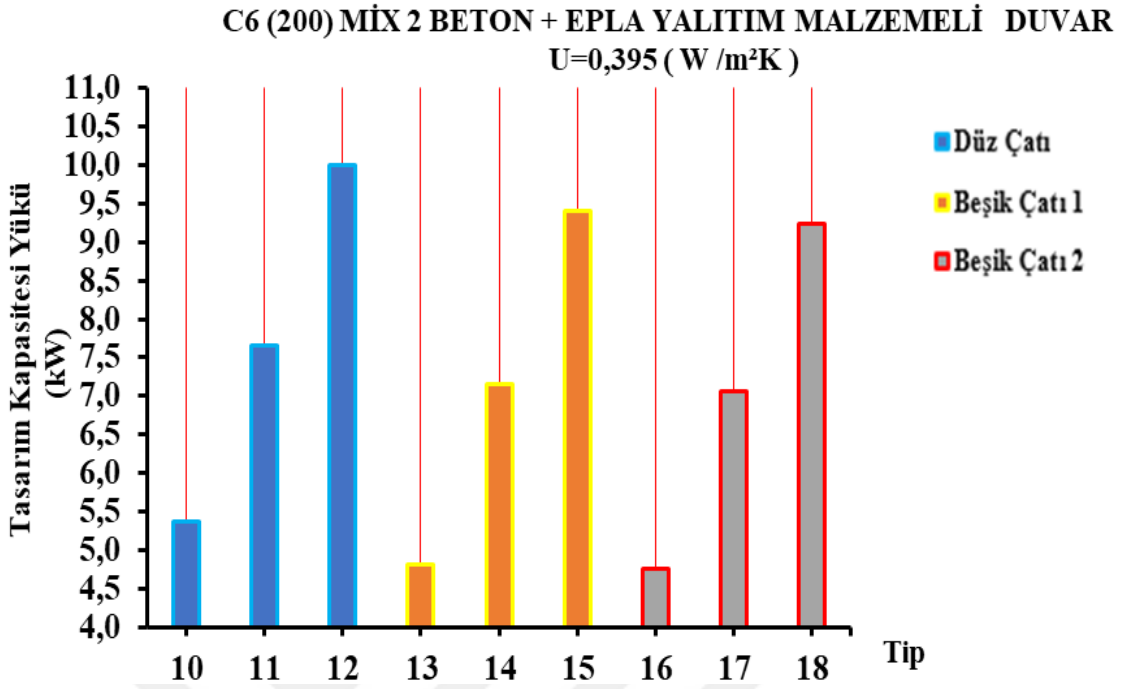
4.2.3. Soğutma Tasarımı analizi sonucundaki blok tasarım kapasitesi (kW) yüklerinin çatı tipleri yönünden karşılaştırılması

Şekil 4.7, Şekil 4.8 ve Şekil 4.9'da binaların duvarlarında kullanılacak beton karışımlarına göre göre 3 ayrı grafik olarak sınıflandırılmış ve kendi aralarında çatı türü ve pencere yüzdelere Soğutma Tasarımı analizi sonucundaki tasarım kapasite değerleri karşılaştırılmıştır.

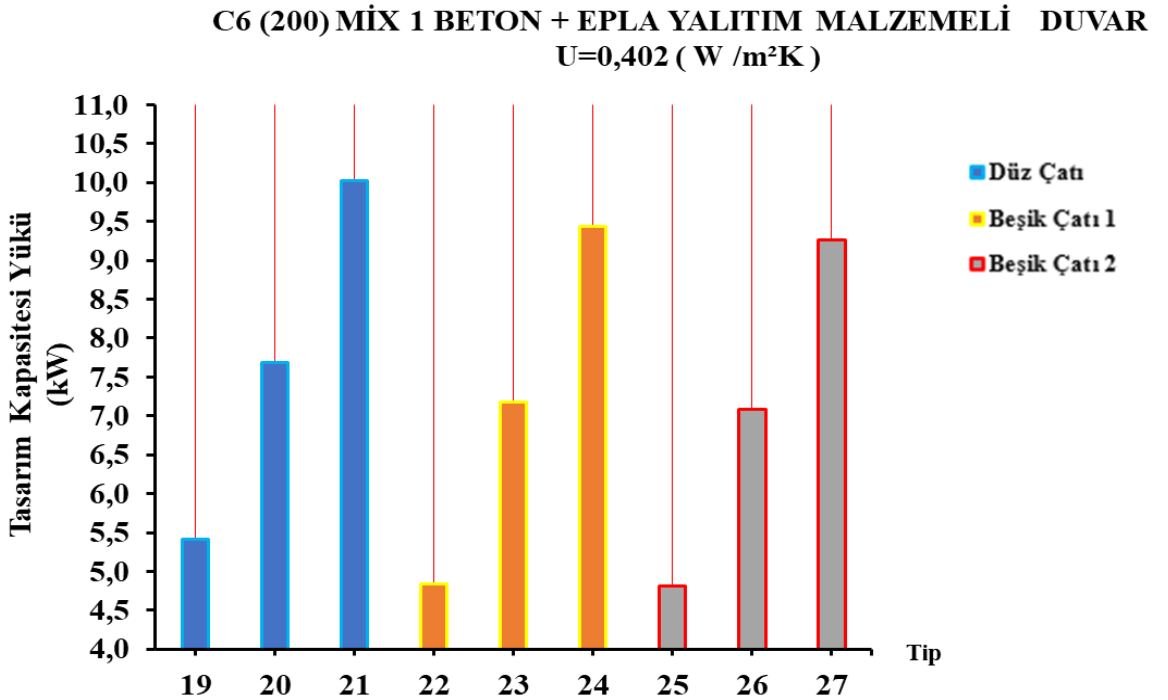
C6 (200) MİX 3 BETON + EPLA YALITIM MALZEMELİ DUVAR $U=0,34 \text{ (W /m}^2\text{K)}$



Şekil 4.7. Mix 3 beton karışımı bina modellerinin blok Soğutma Tasarımı tasarım kapasitesi yüklerinin karşılaştırılması (Yazar tarafından oluşturulmuştur)



Şekil 4.8. Mix 2 beton karışımlı bina modellerinin blok Soğutma Tasarımı tasarım kapasitesi yüklerinin karşılaştırılması (Yazar tarafından oluşturulmuştur)



Şekil 4.9. Mix 1 beton karışımlı bina modellerinin blok Soğutma Tasarımı tasarım kapasitesi yüklerinin karşılaştırılması (Yazar tarafından oluşturulmuştur)

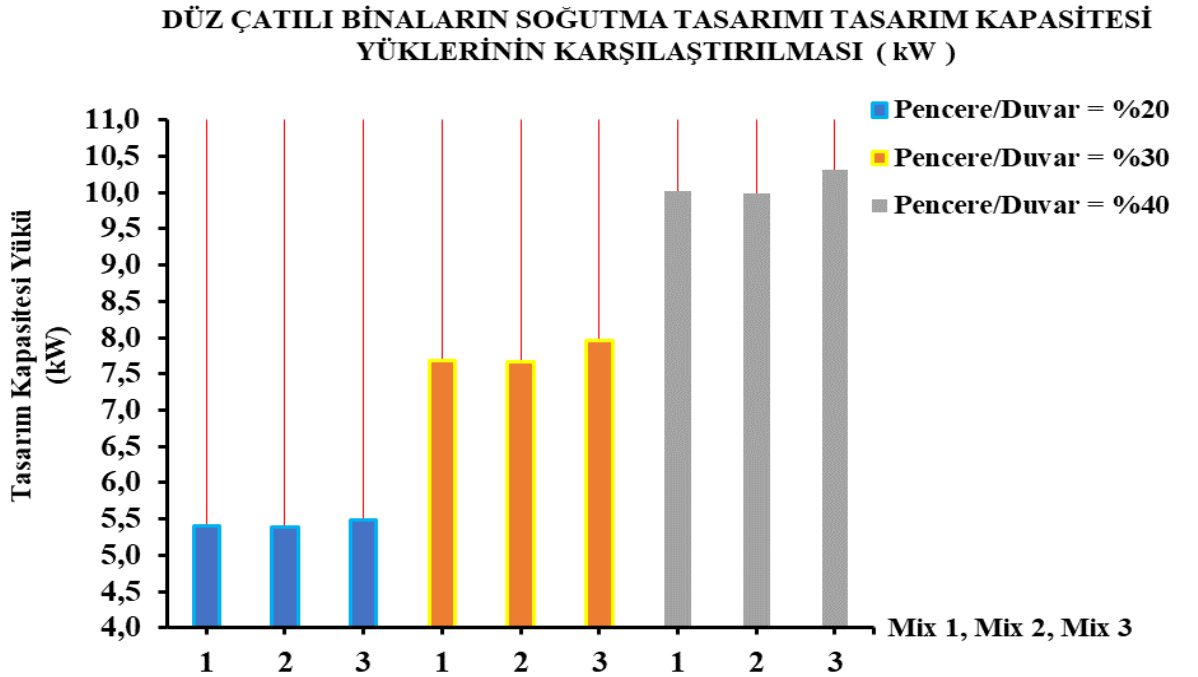
Şekil 4.7'den Şekil 4.9'a kadar incelendiğinde çatı tipleri yönünden kıyaslandığında da yaşam alanı tanımlı beşik çatı 2'li binaların diğer çatı tiplerine sahip olan binalara kıyasla daha az enerjiye ihtiyaç duyduğu gözlemlenmiştir. *Bu açıdan Hipotez 1 desteklenmektedir.* Başka bir ifade ile çatı tipi enerji tüketiminde önemli bir parametredir.

Grafikler incelendiğinde en iyi performans gösteren bina tipinin en az tasarım kapasitesi değerine sahip olan Mix 2 betonu kullanılan, %20 pencere/duvar oranına sahip, çatısı yaşam alanı tanımlanmış beşik çatı 2'den oluşan Konya tip 16 binası olduğu tespit edilmiştir.

En kötü performans gösteren bina tipinin en fazla tasarım kapasitesi değerine sahip olan mix 3 betonu kullanılan, %40 pencere/duvar oranına sahip, düz çatıdan oluşan Konya tip 3 binası olduğu tespit edilmiştir.

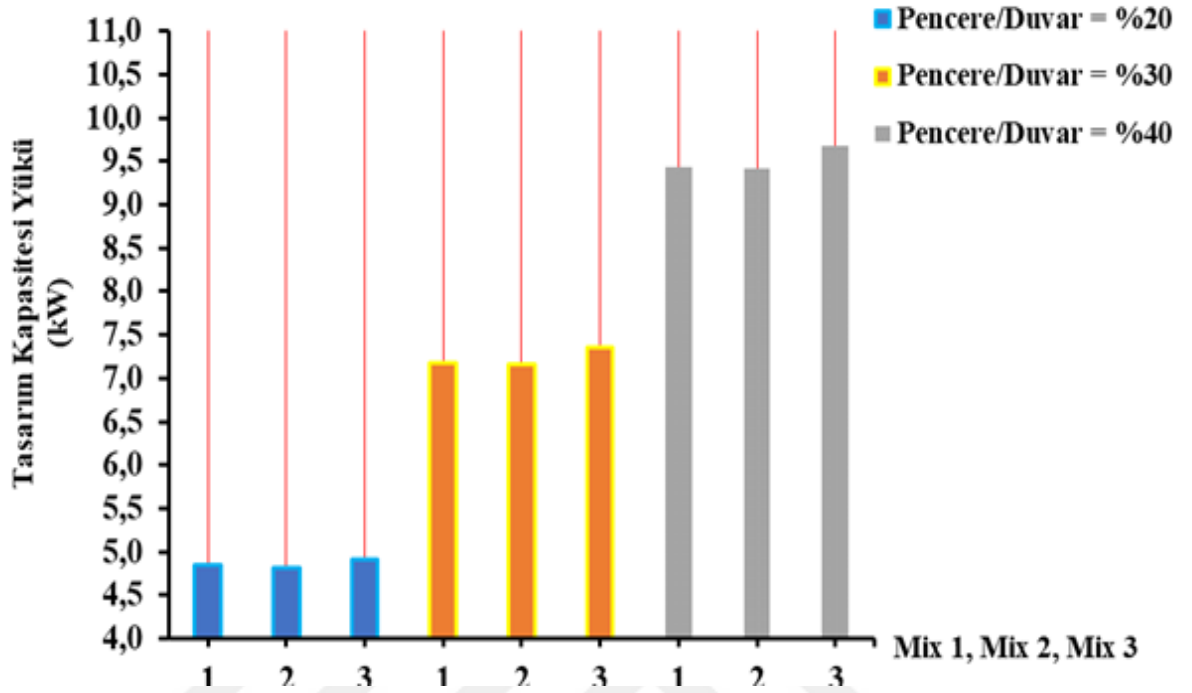
4.2.4. Soğutma Tasarımı analizi sonucundaki blok tasarım kapasitesi (kW) yüklerinin beton çeşitleri ve pencere yüzdeleri yönünden binaların karşılaştırılması

Şekil 4.10, Şekil 4.11 ve Şekil 4.12'de binalar çatı türlerine göre 3 ayrı grafik olarak sınıflandırılmış ve kendi aralarında beton çeşitleri ve pencere yüzdelere göre Soğutma Tasarımı analizi sonucundaki tasarım kapasite değerleri karşılaştırılmıştır.



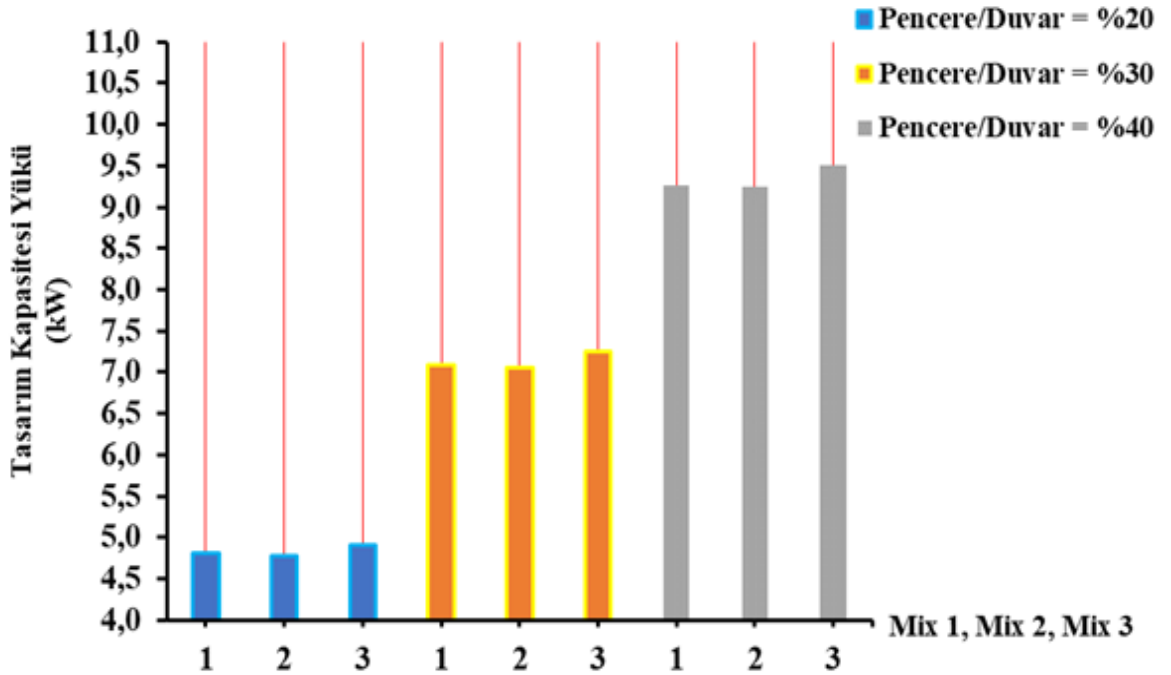
Şekil 4.10. Düz çatılı binaların blok Soğutma Tasarımı tasarım kapasitesi yüklerinin karşılaştırılması (Yazar tarafından oluşturulmuştur)

BEŞİK ÇATI 1'Lİ BİNALARIN SOĞUTMA TASARIMI TASARIM KAPASİTESİ YÜKLERİNİN KARŞILAŞTIRILMASI (kW)



Şekil 4.11. Beşik çatı 1'li binaların blok Soğutma Tasarımı tasarım kapasitesi yüklerinin karşılaştırılması (Yazar tarafından oluşturulmuştur)

BEŞİK ÇATI 2'Lİ BİNALARIN SOĞUTMA TASARIMI TASARIM KAPASİTESİ YÜKLERİNİN KARŞILAŞTIRILMASI (kW)



Şekil 4.12. Beşik çatı 2'li binaların blok Soğutma Tasarımı tasarım kapasitesi yüklerinin karşılaştırılması (Yazar tarafından oluşturulmuştur)

Grafikler incelendiğinde tüm bina tipleri için de pencere/duvar oranı yüzdesi arttıkça ihtiyaç olan enerji miktarı arttığı gözlemlenmiştir. *Verilere göre Hipotez 2 desteklenmektedir.* Başka bir ifade ile bina dış cephesinde bulunan pencerelerinin duvar alanına oranı enerji verimliliği için önemli bir parametredir.

Binalarda kullanılan beton türleri açısından kıyaslandığında da beton toplam ısı transfer katsayı değeri arttıkça binaların konfor sıcaklığına ulaşması için ihtiyaç duyulan soğutma enerjisinin ısıtma tasarımı analizindeki gibi artmadığı; 3 farklı beton türü arasından Mix 2 ($U= 0,395 \text{ W/m}^2\text{K}$) beton kullanılan binaların Mix 3 ($U= 0,34 \text{ W/m}^2\text{K}$)'e ve Mix 1 ($U= 0,402 \text{ W/m}^2\text{K}$) beton kullanılan binalara göre daha az soğutma enerjisine ihtiyaç duyduğu gözlemlenmiştir. *Verilenlere göre Hipotez 3 desteklenmektedir.* Başka bir ifade ile duvarlarda kullanılacak betonun toplam ısı transfer katsayısı değeri enerji verimliliği için önemli bir parametredir.

5. SONUÇLAR, TARTIŞMA ve ÖNERİLER

Hayatımızı her alanında enerjiye ihtiyaç duymaktayız. Her geçen gün nüfus artışı ile enerjiye olan gereksinimiz gün geçtikçe artmaktadır. Enerji gereksinimlerimizin büyük kısmını da yapılardaki ısıtma ve soğutma ve havalandırma oluşturmaktadır. Günümüzde kullanılan enerji miktarı göz önüne alındığında ısıtma ve soğutma ve havalandırma için kullanılan enerji miktarı büyük bir paya sahiptir. Nüfus artışı ile gerekli olan konut ve barınma ihtiyacı ile düzensiz ve plansız yapı üretiminde artış olmuştur. Bu yapıların enerji etkin tasarım ilkeleri göz önüne alınmadan planlanması ve kontrolsüz yapılması, bulunduğu bölgenin iklim koşulları dikkate alınmaması ile harcanılan enerjinin artmasına sebep olmaktadır. Bu enerjinin büyük bir kısmı da yapının mimari ve karakteristik özellikleri sebebiyle boşa harcanmaktadır. Enerji üretiminde kullanılan doğal kaynakların gün geçtikçe azalması sebebiyle bu boşa harcanan enerjinin önüne geçilmesi gerekmektedir. Bu alana yönelik çözüm yollarının bulunmalıdır. Enerji etkin kullanım bu kapsamda büyük bir önem taşımaktadır. Bu kapsamda bu tez çalışmasında Türkiye’de 3D Yazıcı ile imal edilebilecek bir betonarme konut modeli ele alınmış ve bu konutun enerji gereksinimlerini en aza indirmek ve boşa harcanan enerjinin önüne geçebilmesi için farklı tip mimari ve beton özelliklerine sahip 27 tip bina Design Builder programında modellenmiştir. Binanın mimari tipolojisi yönünden pencere/duvar oranları, uygulanacak çatı tip çeşitleri göz önüne alınmış ve üretiminde kullanılacak beton türünün farklı tanımlanması ile 27 farklı tip bina tasarlanmış Isıtma Tasarımı ve Soğutma Tasarımı analizleri yapılmıştır.

5.1 Sonuçlar

1) Isıtma ve soğutma analiz sonuçlarına bakıldığında Konya ilinde 3D beton yazıcı ile imal edilecek 27 farklı tip binanın yaz ve kış aylarının en sıcak ve en soğuk günlerinde zemin kat bloklarındaki (blok 1) mekânlarının konfor sıcaklıklarına erişebilmesi için gerekli olan toplam soğutma ve ısıtma enerji miktarları kıyaslanmıştır.

2) Binalar pencere / duvar oranlarına göre kıyaslandığında pencere / duvar oranı %20 olan binaların %30 ve %40 olan binalara göre daha az ısıtma ve soğutma enerjisine ihtiyaç duyduğu tespit edilmiştir.

3) Binalar çatı tipleri yönünden kıyaslandığında düz çatı, yaşam alanı tanımsız beşik çatı 1 ve yaşam alanı tanımlı beşik çatı 2’li binalar arasından yaşam alanı tanımlı

beşik çatı 2'li binaların diğerlerine kıyasla daha az ısı ve soğutma enerjisine ihtiyaç duyduğu tespit edilmiştir.

4) Mix 1, Mix 2 ve Mix 3 beton karışımli duvarlardan oluşan binalar kendi aralarında kıyaslandığında ısıtma tasarımı analizi sonucunda, toplam ısı transfer katsayısı (U) 0,34 W/m²K olan Mix 3 karışımli beton duvarlı binaların diğer tiplere göre kıyasla daha az ısıtma enerjisine ihtiyaç duyulduğu; soğutma tasarımı analizi sonucunda ısı transfer katsayısı 0,395 W/m²K olan Mix 2 karışımli beton duvarlı binaların diğer tiplere göre kıyasla daha az soğutma enerjisine ihtiyaç duyulduğu tespit edilmiştir.

5) Modellenen binaların Isıtma Tasarımı analizlerinin sonuçları kıyaslandığında Konya ilinde 3D beton yazıcı ile imal edilebilecek en iyi performans gösteren bina tipinin en az ısıtma enerjisine ihtiyaç duyan pencere / duvar oranı %20, duvarlarında Mix 3 karışımli beton kullanılan ve çatısı Beşik çatı 2 olan Konya tip 7 olduğu tespit edilmiştir.

6) Modellenen binaların Isıtma Tasarımı analizlerinin sonuçları kıyaslandığında Konya ilinde 3D beton yazıcı ile imal edilebilecek en kötü performans gösteren bina tipinin en fazla tasarım kapasitesi değerine sahip olan Mix 1 betonu kullanılan, %40 pencere/duvar oranına sahip, çatısı yaşam alanı tanımlanmamış beşik çatı 1'den oluşan Konya tip 24 binası olduğu tespit edilmiştir.

7) Modellenen binaların Soğutma Tasarımı analizlerinin sonuçları kıyaslandığında Konya ilinde 3D beton yazıcı ile imal edilebilecek en iyi performans gösteren bina tipinin en az soğutma enerjisine ihtiyaç duyan pencere / duvar oranı %20, duvarlarında Mix 3 karışımli beton kullanılan ve çatısı Beşik çatı 2 olan Konya tip 16 olduğu tespit edilmiştir.

8) Modellenen binaların Soğutma Tasarımı analizlerinin sonuçları kıyaslandığında Konya ilinde 3D beton yazıcı ile imal edilebilecek en kötü performans gösteren bina tipinin en fazla soğutma enerjisine ihtiyaç duyan pencere / duvar oranı %40, duvarlarında Mix 3 karışımli beton kullanılan ve çatısı düz çatı olan Konya tip 3 olduğu tespit edilmiştir.

5.1.1. Tez çalışmasında yer alan hipotezlerin değerlendirmesi

Bölüm 1.3'te, çalışmanın başlangıcında bu tez çalışması için 3 farklı hipotez üzerinden çalışmanın ana sorusu sorulmuştur. Sırasıyla;

Hipotez 1’de 3D yazıcı ile üretilecek binalarda kullanılacak çatı tipinin enerji verimliliği için önemli bir parametre olduğu öne sürülmüştü. Yapılan tez çalışması sonucunda Bölüm 5.1’deki sonuçlar incelendiğinde çatı tipi değişikçe binaların ısıtma ve soğutması için gerekli olan enerji miktarlarının değiştiği gözlemlenmiştir. Mimari kriterlerden biri olan çatı tipinin enerji verimliliği üzerinde önemli bir etkisinin olduğu sonucuna varılmıştır.

Hipotez 2’de binaların dış cephesinde bulunan pencerelerinin duvar alanlarına oranı enerji verimliliği için önemli bir parametre olduğu öne sürülmüştü. Yapılan tez çalışması sonucunda Bölüm 5.1’deki sonuçlar incelendiğinde pencere/duvar oranı yüzdesi değişikçe binaların ısıtma ve soğutması için gerekli olan enerji miktarlarının değiştiği gözlemlenmiştir. Mimari kriterlerden biri olan pencere/duvar oranının enerji verimliliği üzerinde önemli bir etkisinin olduğu sonucuna varılmıştır.

Hipotez 3’te 3D yazıcı ile üretilecek binaların duvarlarında kullanılacak betonun toplam ısı transfer katsayısı değerinin enerji verimliliği için önemli bir parametre olduğu öne sürülmüştü. Yapılan tez çalışması sonucunda Bölüm 5.1’deki sonuçlar incelendiğinde binalarda kullanılacak betonun toplam ısı transfer katsayısı değeri değişikçe binaların ısıtma ve soğutması için gerekli olan enerji miktarlarının değiştiği gözlemlenmiştir.

5.2 Tartışma

Literatürde bu tez çalışmasında değinilen konu üzerinde farklı çalışmalar yapılmıştır. Bu çalışmadan elde edilen bulgular ile literatürün örtüştüğü ve ayrıştığı noktalar mevcuttur. Örneğin, Mahdi E. ve ark. (2022) çalışmasında, 3D yazıcı teknolojisi ile imal edilecek binalarda baskı betonlarında 2 farklı beton karışımı ele alınmıştır ve geleneksel Portland çimentosuna göre enerji etkinliği karşılaştırmışlardır. Enerjiyi etkin kullanan binalarda kullanılacak beton türünü tespit etmek amacıyla ele alınan literatür çalışmasından farklı olarak yapılan bu tez çalışmasında 3 farklı beton karışımı ele alınmıştır. Ayrıca bahsedilen literatür çalışmasında beton karışım türleri ile imalat edilen duvarların toplam ısı transfer katsayısı değerleri verilmemişken bu tez çalışmasında 3D yazıcı ile imalat edilecek duvarların toplam ısı transfer katsayısı değerleri verilmiştir. Her iki çalışmanın ortak yönü ise hesaplamalarda Design Builder programı kullanılmasıdır. Bir diğer çalışma olan Nazar ve ark. (2022) yaptıkları çalışması ile yapılan bu tez çalışması kıyaslandığında, Nazar ve ark. (2022) binaları Revit 2022 programında modelleyip Design Builder programına aktarılmışken, bu tez

çalışmasında binalar direk Design Builder programında modellenerek binaların enerji performans değerlendirilmesi yapılmıştır. Kıyaslanan kaynak çalışmasında bina modellerinde değişken değer olarak sadece dış duvarlar ele alınmışken, yapılan bu tez çalışmasında bütün duvarlar değişken değere dâhil edilmiştir. Ayrıca Nazar ve ark. (2022) çalışmalarında 4 farklı yalıtım malzemesi kullanarak toplam ısı transfer katsayısı değerleri farklı olan 4 farklı duvar tipini incelemişken yapılan bu tez çalışmasında tek tip yalıtım malzemesi kullanılarak tek tip duvar konfigürasyonu ele alınmıştır. Bu iki çalışmanın ortak yönü olarak tasarladıkları binalarda 3 farklı beton karışımı ele almışlardır. Ayrıca her iki çalışmada da 3D yazıcı ile oluşturulması tasarlanan binaların lokasyonu sabit tutulmuştur. Garcia-Alvarado ve ark. (2021) yapmış olduğu çalışmasında dünyada 3D yazıcı betonla üretilmiş binaların çatıların mimari özelliklerini incelenmişken bu tez çalışmasında karasal iklime sahip olan Konya'da 3D yazıcı ile yapılması düşünülen binanın çatısının enerji verimliliği baz alınarak hangi mimari özelliklerde olması gerektiğinin analizi yapılmıştır.

5.3 Öneriler

Enerjiyi ihtiyacımızın yıl geçtikçe artması ve enerji üretim kaynaklarımızın zaman geçtikçe tükenmesi sebebiyle binaların inşasına başlanmadan önce enerjiyi etkin kullanan bina olarak tasarlanması ülkemizde zorunlu hale getirilmelidir. Yurt dışında binaların mimari tasarım sürecinde gerekli olan enerji miktarını en aza indirmek için farklı şartnameler uygulanmakta ve her bina için bu şartnameye uyulup uyulmadığı belediyeler tarafından plan aşamasında denetlenmektedir. Bu tez çalışmasında da görüldüğü gibi binalarda enerjiyi etkin kullanımı açısından yapının mimari özellikleri ve bina kabuğu büyük bir öneme sahiptir. Bu sebeple yapılması düşünülen tüm binalar en azından Design Builder programında farklı tiplerde modellenip en uygun tip tespit edildikten sonra binanın inşasına başlanmalıdır. Böylelikle boşa harcanan enerji farklı bir amaçla gelişim için kullanılabilir.

Design Builder programı ile enerjiyi etkin kullanan bina modelinin tespit edilmesi için Isıtma ve Soğutma Tasarım analizlerinin haricinde Design Builder programının içinde yer alan Simülasyon bölümünden hem ısıtma hem de soğutma için gerekli olan enerji miktarları aylık olarak veya belirli bir tarih referans alınarak kıyaslanabilir. Ayrıca bu aylık yük değerlerini toplayarak yıllık gerekli olan enerji miktarları yönünden modellenen binaları karşılaştırarak enerjiyi etkin kullanan bina modelleri tespit edilebilir.

Bu tez çalışmasının devamı olarak 3D yazıcı betonla yapılması düşünülen bina ile aynı mimari özelliklere sahip duvarları tuğla, beton veya briket gibi malzemeler ile geleneksel yöntemlerle yapılması planlanan binalar Design Builder programında modellenebilir ve Isıtma ve Soğutma Tasarımı analizleri sonuçları kıyaslanarak enerji verimliliği açısından en uygun bina tespit edilebilir.



KAYNAKLAR

- Alkhalidi, A., Hatuqay, D., 2021, Energy efficient 3D printed buildings: Material and techniques selection worldwide study. *J. Build. Eng.*2020, 30, 101286.
- Albatayneh, A., 2021, Optimisation of building envelope parameters in a semi-arid and warm Mediterranean climate zone. *Energy Reports*, 7, 2081-2093.
- Nazar M., Ayegba, B.O., Egbe, K.-J.I., A., Huang, M., Hariri-Ardebili, M.A. Resource Efficiency and Thermal Comfort of 3D Printable Concrete Building Envelopes Optimized by Performance Enhancing Insulation: A Numerical Study. *Energies* 2022, 15, 1069.
- Cheung, C.K., ve Fuller, R.J., 2005, Energy-Efficient Envelope Design for High-Rise Apartments. *Energy and Buildings*, 37 (1), 37-48.
- De Koker D., ‘Manufacturing processes for engineered cement-based composite material products’ (M.Sc. thesis) Stellenbosch University, South Africa, 2004.
- Designingbuildings (2021), Natural ventilation of buildings. https://www.designingbuildings.co.uk/wiki/Natural_ventilation_of_buildings adresinden erişilmiştir.
- Domi, S., 2018, Conceptual Design of Low Energy Consumption House in Khartoum. . *Engineering and Technology International Journal of Architectural and Environmental Engineering*. World Academy of Science. Sudan.
- Garde, F., Adelard, L., Boyer, H., & Rat, C., 2004, Implementation and experimental survey of passive design specifications used in new low-cost housing under tropical climates. *Energy and Buildings*, 36(4), 353-366.
- Garcia-Alvarado R., Moroni-Orellana G., Banda-Perez P., 2021, Architectual Evaluation of 3D-Printed Buildings, 11,254.
- Haphoo., 2018, Gün ışığı yönünden binanın konumlandırılması. <https://haphoo.com/building-orientationbased-climatology-india> adresinden erişilmiştir.
- Hassanain, M. A., Post-Occupancy Indoor Environmental Quality Evaluation of Student Housing Facilities. *Architectural Engineering And Design Management*. 3, 249–256. 2007.
- Kanagaraj, G., Mahalingam, A., 2011, Designing energy efficient commercial buildings—a systems framework. *Energy and Buildings*, 43(9), 2329 – 2343.
- Khoshnevis, B., 2004, Automated Construction By Contour Crafting – Related Robotics And Information Technologies. Published in *Journal of Automation in Construction*, Vol 13 Issue 1, Pages 5-19.

- Koç, A., Yağlı, H., Koç, Y., ve Uğurlu, İ., 2018, Dünya’da ve Türkiye’de enerji görünümünün genel değerlendirilmesi. *Engineer and Machinery*, 59, 8 6-114.
- Le, T.T., Austin, S.A., Lim, S., Buswell, R.A., Gibb, A.G.F., Thorpe, T., 2012, Mix design and fresh properties for high-performance printing concrete, *Materials and Structures*. Vol 45, Pages 1221- 1232.
- Lipson H., Kurman M., 2013, *Fabricated The New World of 3D Printing*. John Wiley & Sons.
- Mahdi E., Mohammad M., Alireza A., Rahim Z., 2022, Investigation of thermal performance and life-cycle assessment of a 3D printed building. Department of Renewable Energies and Environment, Faculty of New Science and Technologies, University of Tehran, North Kargar Street, Tehran, Iran.
- Moelich M., 2022, Thermal performance of cavities in 3DPC building facades using DesignBuilder. Thesis presented in fulfilment of the requirements for the degree of Master of Engineering in Civil Engineering in the Faculty of Engineering at Stellenbosch University.
- Nadarajah, N., 2018, Development of concrete 3D printing. Master’s Thesis.
- Özalp F., Yılmaz H., Yaşar Ş., 2018, 3D yazıcı teknolojisine uygun sürdürülebilir ve yenilikçi betonların geliştirilmesi.
- Janssen, R., (2004). *Towards energy efficient buildings in Europe*. London: The European alliance of companies for energy efficiency in buildings.
- Peng, W., Jun W., Xiangyu W., 2016, A critical review of the use of 3-D printing in the construction industry. In *Automation in Construction*, Vol 68, Pages 21-31,.
- Raeissi, S., ve Taheri, M., 1998, Optimum overhang dimensions for energy saving. *Building and Environment*, 33(5), 293-302.
- Soysal, S., 2008, The Relationship between design parameters and energy consumption in residential buildings. *Smart buildings in the context of sustainable architecture*. *Architecture Magazine*, 154: 81-85.
- Suntharalingam T., Upasiri I., Gatheeshgar P., Poologanathan K., Nagaratnam B., Santos P., ve Rajanayagam H., 2021, *Buildings* 2021, 11(10), 432.
- Top M. ve Ayçam İ., 2023, ‘Material Used in 3-Dimensional Printing Technology in the Construction Industry’. *Journal of Science, Part B*, 11(1): 1-17.
- U.S. Department of Energy, 2012, 2011 Buildings energy databook. 5th edn, Energy Efficiency & Renewable Energy Department. 5th edn. Maryland: D&R International, Ltd. Available at: <http://buildingsdatabook.eren.doe.gov/DataBooks.aspx>.

Wang L.,Jiang H., Li Z., Ma G., 2020, ‘ Mechanical behaviors of 3D printed lightweight concrete structure with hollow section’. Archives of Civil and Mechanical Engineering

Yawen H., Yamei Zhang, Chao Zhang, Hongyu Zhou, 2020, Energy-saving potential of 3D printed concrete building with integrated living wall. Energy & Buildings.

URL-1. Winsun Apartmanı. <https://www.cnet.com/kültür/worlds-first-3d-printed-apartment-Çin'de-inşa-edilen-bina>.

URL-2. Toplam Özel Kale. <http://www.totalkustom.com/3d-castle-completed.html> .

URL-3. Apis Kor Evi. <https://www.3dnatives.com/en/apis-cor-3d-printed-house-060320184/> .

URL-4. Kripton Postası. <https://xtreee.com/en/project/krypton/>.

URL-5. Kent Kabini. <https://www.archdaily.com/794855/urban-cabin-dus-architects> .

URL-6. BOD. <https://cobod.com/the-bod/>.

URL-7. 3D Baskılı Köprü. <https://iaac.net/project/3d-printed-bridge/>.

URL-8. 3D Baskılı Bisiklet Köprüsü. <https://all3dp.com/worlds-first-3d-printed-bicycle-bridge-hollanda'da-aciiliyor/>.

URL-9. Siber 3D Stüdyo. <https://cybe.eu/cases/3d-studio-2030/>.

URL-10. Arup 3D Baskı Evi. <https://www.dezeen.com/2018/04/20/cls-architetti-arup-use>.

URL-11. 3D Ev. <https://www.heidelbergcement.com/en/3d-housing> .

URL-12. Chicon Evi. <https://archello.com/project/chicon-house>.

URL-13. Gaia. <https://www.3dwasp.com/casa-stampata-in-3d-gaia/> .

URL-14. Simge 3D Baskılı Topluluk Evi.

URL-15.
topluluğu/#:~:text=%20homes%20are%20made%20of%20a%20proprietary%20c
oncrete%20karışımına%20lavacrete denir.

URL-16. Kamp C. https://www.dezeen.com/2020/12/22/kamp-c-completes-two-storey-house-3d-print-one-piece-onsite/?li_source=LI&li_medium=bottom_block_1.

URL-17. Provk <https://www.designboom.com/technology/pvok-3d-printed-floating-house-48-hours-czech-republic-05-27-2020/>.

- URL-18. Simge 3DP Evi. <https://www.iconbuild.com/updates/3strands-brings-more-3d-baskılı-evler-by-icon-to-austin-market>.
- URL-19. Simge 3DP Evi. <https://www.dwell.com/article/community-first-3d-printed-houses-icon-mobile-loaves-and-fishes-3f950815>:
- URL-20. Tecla. <https://www.3dwasp.com/en/3d-printed-house-tecla/>
- URL-21. Dönüm noktası. <https://www.dezeen.com/2021/05/06/3d-printed-home-project-milestone-eindhoven/>
- URL-22. Simge 3DP Evi. <https://www.dezeen.com/2021/08/31/east-17th-street-residences-3d-print-homes-icon-austin/>
- URL-23. Beckum Evi. <https://www.gira.com/uk/en/inspirations/references/3d-house-almanya#how-to-start-a-3d-printing-construction>
- URL-24. [https://www.archdaily.com/977809/icon-completes-first-house-in-new-series-of-additive inşaat keşifleri?ad_source=search&ad_medium=projects_tab&ad_source=search&ad_medium=search_h_result_all](https://www.archdaily.com/977809/icon-completes-first-house-in-new-series-of-additive-inşaat-keşifleri?ad_source=search&ad_medium=projects_tab&ad_source=search&ad_medium=search_h_result_all)
- URL-25. 3DP Evi. [https://3dprint.com/289938/first-3d-printed-houses-completed-by-indian ordu/](https://3dprint.com/289938/first-3d-printed-houses-completed-by-indian-ordu/)
- URL-26. 3DP Ofisi. <https://cobod.com/3d-printed-office-extension-is-now-complete-in-austria/>
- URL-27. 3DP Evi. <https://cobod.com/even-borneo-now-has-its-first-3d-printed-house/>
- URL-28. Viliaprint. <https://xtree.com/en/project/viliaprint-cinq-maisons-individuelles/>
- URL-29. www.gelecekgeldi.com
- URL-30. www.stendustri.com.tr
- URL-31. WMO Region 6- Europe (onebuilding.org)
- URL-32. [https://www.fluke.com/tr-tr/bilgi-edinin/blog/termal-goruntuleme/sicak-nokta-tespiti#:~:text=Emisivite%20\(%CE%B5\)%2C%20bir%20malzemenin,%22siyah%20g%C3%B6vde%22%20olarak%20adland%C4%B1r%C4%B1l%C4%B1r.](https://www.fluke.com/tr-tr/bilgi-edinin/blog/termal-goruntuleme/sicak-nokta-tespiti#:~:text=Emisivite%20(%CE%B5)%2C%20bir%20malzemenin,%22siyah%20g%C3%B6vde%22%20olarak%20adland%C4%B1r%C4%B1l%C4%B1r.)