

**BAŞKENT ÜNİVERSİTESİ  
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ  
MİMARLIK ANABİLİM DALI  
MİMARLIK TEZLİ YÜKSEK LİSANS PROGRAMI**

**MİMARLIKTA SAYISAL TASARIM ARAŞTIRMALARININ  
BİBLİYOMETRİK YÖNTEMLERLE ANALİZİ VE HARİTALANMASI**

**HAZIRLAYAN**

**REZZAN EFİL ERDOĞAN**

**YÜKSEK LİSANS TEZİ**

**ANKARA - 2020**



**BAŞKENT ÜNİVERSİTESİ  
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ  
MİMARLIK ANABİLİM DALI  
MİMARLIK TEZLİ YÜKSEK LİSANS PROGRAMI**

**MİMARLIKTA SAYISAL TASARIM ARAŞTIRMALARININ  
BİBLİYOMETRİK YÖNTEMLERLE ANALİZİ VE HARİTALANMASI**

**HAZIRLAYAN**

**REZZAN EFİL ERDOĞAN**

**YÜKSEK LİSANS TEZİ**

**TEZ DANIŞMANI**

**PROF. DR. ŞULE TAŞLI PEKTAŞ**

**ANKARA - 2020**

**BAŞKENT ÜNİVERSİTESİ**  
**FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

Mimarlık Anabilim Dalı Mimarlık Tezli Yüksek Lisans Programı çerçevesinde Rezzan Efil ERDOĞAN tarafından hazırlanan bu çalışma, aşağıdaki jüri tarafından Yüksek Lisans olarak kabul edilmiştir.

Tez Savunma Tarihi: 23 / 12 / 2020

**Tez Adı: MİMARLIKTAKİ SAYISAL TASARIM ARAŞTIRMALARININ BİBLİYOMETRİK YÖNTEMLERLE ANALİZİ VE HARİTALANMASI**

**Tez Jüri Üyeleri ( Unvanı, Adı - Soyadı, Kurumu )**

**İmza**

Prof. Dr. Şule Taşlı Pektaş, Başkent Üniversitesi (Danışman)

.....

Dr. Öğr. Üyesi Müge Bahçeci, Başkent Üniversitesi (Başkan)

.....

Dr. Öğr. Üyesi Başak Uçar, TED Üniversitesi (Üye)

.....

**ONAY**

Prof. Dr. Ömer Faruk ELALDI

Fen Bilimleri Enstitüsü Müdürü

Tarih: ... / ... / .....

**BAŞKENT ÜNİVERSİTESİ**  
**FEN BİLİMLER ENSTİTÜSÜ**  
**YÜKSEK LİSANS TEZ ÇALIŞMASI ORJİNALLİK RAPORU**

Tarih: 15 / 12 / 2020

Öğrencinin Adı, Soyadı : Rezzan Efil ERDOĞAN

Öğrencinin Numarası : 21810074

Anabilim Dalı : Mimarlık Anabilim Dalı

Programı : Mimarlık Tezli Yüksek Lisans Programı

Danışmanın Unvanı/Adı, Soyadı : Prof. Dr. Şule TAŞLI PEKTAŞ

Tez Başlığı : Mimarlıkta Sayısal Tasarım Araştırmalarının Bibliyometrik Yöntemlerle Analizi ve Haritalanması

Yukarıda başlığı belirtilen Yüksek Lisans tez çalışmamın; Giriş, Ana Bölümler ve Sonuç Bölümünden oluşan, toplam ..105..... sayfalık kısmına ilişkin, 15 / 12 / 2020 tarihinde şahsım/tez danışmanım tarafından Turnitin adlı intihal tespit programından aşağıda belirtilen filtrelemeler uygulanarak alınmış olan orijinallik raporuna göre, tezimin benzerlik oranı % ...9...’dur. Uygulanan filtrelemeler:

1. Kaynakça hariç
2. Alıntılar hariç
3. Beş (5) kelimedenden daha az örtüşme içeren metin kısımları hariç

“Başkent Üniversitesi Enstitüleri Tez Çalışması Orijinallik Raporu Alınması ve Kullanılması Usul ve Esaslarını” inceledim ve bu uygulama esaslarında belirtilen azami benzerlik oranlarına tez çalışmamın herhangi bir intihal içermediğini; aksinin tespit edileceği muhtemel durumda doğabilecek her türlü hukuki sorumluluğu kabul ettiğimi ve yukarıda vermiş olduğum bilgilerin doğru olduğunu beyan ederim.

Öğrenci İmzası:.....

**ONAY**

Tarih: ... / ... / 20...

Öğrenci Danışmanı Unvan, Adı, Soyadı, İmza:

Prof. Dr. Şule TAŞLI PEKTAŞ

*Annem'e ve Babam'a*

## TEŞEKKÜR

Öncelikle bu tezin oluşmasını mümkün kılan tez danışmanım Prof. Dr. Şule TAŞLI PEKTAŞ'a akademik olarak ufkumu açtığı, tez süreci boyunca bana yol gösterdiği ve her koşulda beni cesaretlendirdiği için sonsuz teşekkür ederim. Tavsiyeleri ve tecrübeleri hayatımın ilerleyen dönemlerinde de bana ışık tutacaktır.

Tez süreci boyunca yanımda olan arkadaşlarıma manevi destekleri, sevgileri ve güvenleri için teşekkür ederim.

Tüm hayatım boyunca her konuda ilgi ve özveri göstererek koşulsuz olarak yanımda olan annem Rezzan ERDOŐAN, babam Ali ERDOŐAN ve ablam Ceren ERDOŐAN'a; her durumda beni neşelendiren moral kaynağım yeğenim Zeynep'e sevgi ve teşekkürlerimi sunarım.

# ÖZET

**Rezzan Efil ERDOĞAN**

## **MİMARLIKTA SAYISAL TASARIM ARAŞTIRMALARININ BİBLİYOMETRİK YÖNTEMLERLE ANALİZİ VE HARİTALANMASI**

**Başkent Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü**

**Mimarlık Anabilim Dalı**

**2020**

Mimarlıkta sayısal tasarım araştırmaları son yıllarda giderek yaygınlaşmakta, fakat bunlar üzerinde yeterince bibliyometrik analiz yapılmamaktadır. Bu çalışma bahsedilen eksikliği kapamak amacıyla yapılmış olan sistematik bir analizi sunmaktadır. Çalışmaya konu olan bibliyometrik analizin temel amacı alanın entelektüel gelişimini gözler önüne sermektir. Çalışma kapsamında incelenen makaleler Scopus® Web sitesinden elde edilmiştir. Daha sonra VOSviewer© yazılımı kullanılarak makalelerin anahtar kelimeleri, basıldıkları kaynaklar, yazarları ve ait oldukları üniversiteler temel alınarak bibliyometrik analizler yapılmıştır. VOSviewer© bibliyografik verilere dayalı ağ diyagramları üretme amaçlı bir yazılımdır. Çalışmada kullanılan bibliyometrik analiz bilim haritalaması ve performans analizine odaklanmıştır. Bilim haritalaması, yayınların anahtar kelimeleri arasındaki ilişkileri bu anahtar kelimelerin yayınlarda birlikte geçme sıklığına göre ölçen ortak kelime analizi yöntemiyle yapılmıştır. Çalışmada üretilen ağ diyagramı aynı zamanda anahtar kelimelerin yıllara göre dağılımını göstermek üzere de düzenlenmiştir. Performans analizi ise yazarların ve üniversitelerin yayın sayısına bağlı üretkenliklerini ve aldıkları atıflara göre etki değerlerini karşılaştırmak amacıyla kullanılmıştır. Çalışmanın bulguları mimarlıkta sayısal tasarım araştırmalarının temel konularına, bu konuların birbiriyle ilişkilerine ve alandaki temel eğilimlere olduğu kadar önemli yazarların ve üniversitelerin üretkenlik ve etkilerine de ışık tutmuştur.

**ANAHTAR KELİMELELER:** Sayısal Tasarım, Bibliyometrik Analiz, Kavram Haritalama, Veri Görselleştirme, VOSviewer©



# ABSTRACT

**Rezzan Efil ERDOĞAN**

## **ANALYSIS AND MAPPING OF COMPUTATIONAL DESIGN RESEARCH IN ARCHITECTURE WITH BIBLIOMETRIC METHODS**

**Başkent University Institute of Science**

**Department of Architecture**

**2020**

In recent years, the amount of studies on computational design in architecture is increasing in acceleration. However, it is observed that there is a lack of bibliometric analysis which compiles research on the subject. Therefore, the current study aims to close this gap and presents a systematic analysis of computational design studies in architecture. The main aim of the bibliometric analysis is to monitor the intellectual progression of the field. Within the scope of this exploratory study, the related articles were collected from the Scopus® website. Then, a series of analyses, which are based on article keywords, source titles, universities, and authors were performed using VOSviewer©. VOSviewer© is a software tool for creating network maps from bibliographic data. The bibliometric analysis in the study focused on science mapping and performance analysis. Science mapping was conducted through co-word analysis to investigate the co-occurrences of key words and to identify the relationships and interactions between the topics. The produced keyword co-occurrence network map was also visualized to indicate the distribution of the most common keywords by the years. Performance analysis was based on the measurement of productivity (number of articles) and impact (number of citations) of the authors and the universities and institutions. The findings provided insights into the main topics, the relations between the main topics and research trends in computational design in architecture as well as into the productivity and impacts of the significant authors and universities.

**KEYWORDS:** Computational Design, Bibliometric Analysis, Concept Mapping, Data Visualization, VOSviewer©

# İÇİNDEKİLER

Sayfa

TEŞEKKÜR .....	i
ÖZET .....	ii
ABSTRACT .....	iii
İÇİNDEKİLER .....	iv
TABLolar LİSTESİ .....	vi
ŞEKİLLER LİSTESİ .....	ix
SİMGELER VE KISALTMALAR LİSTESİ .....	xi
1. GİRİŞ .....	1
2. SAYISAL TASARIM.....	3
2.1. Sayısal Tasarımın Tanımı .....	3
2.2. Sayısal Tasarımın Tarihçesi ve Mimarlıkta Sayısal Tasarım .....	4
2.2.1. II. Dünya Savaşı ve sonrası 1950'ler .....	5
2.2.2. 1960'lar.....	5
2.2.3. 1970'ler.....	6
2.2.4. 1980'ler.....	7
2.2.5. 1990'lar .....	7
2.2.6. 2000-2010'lar.....	8
2.2.7. 2010-2020'ler .....	8
3. ARAŞTIRMA YÖNTEMİ.....	10
3.1. Bibliyometrik Analiz.....	10
3.2. Scientometric (Bilimetric) Analiz.....	10
3.3. Scopus®.....	12
3.4. VOSviewer©.....	14
3.5. Araştırma Süreci.....	14
3.5.1. Arama terimlerinin tanımlanması.....	15
3.5.2. Kapsamlı veri analizi ve görselleştirme.....	16
3.5.2.1. Anahtar sözcüklerin eş-sözcük çözümü.....	16
3.5.2.2. Anahtar sözcüklerin yıllara göre dağılımı.....	17
3.5.2.3. Yazarların üretkenliği.....	17
3.5.2.4. Yazarların etkisi.....	17

3.5.2.5. Üniversitelerin ve kurumların üretkenliği.....	18
3.5.2.6. Üniversitelerin ve kurumların etkisi.....	18
3.5.2.7. Yayınların dergilere göre dağılımı.....	18
4. BULGULAR.....	20
4.1. Makalelerde Yer Alan Anahtar Sözcükler ve Bunların Arasındaki İlişkiler.....	20
4.2. Makalelerde Kullanılan Anahtar Kelimelerin Yıllara Göre Dağılımı.....	50
4.3. Konuyla İlgili En Fazla Makale Yazan Yazarlar.....	56
4.4. Konuyla İlgili En Fazla Atıf Alan Yazarlar.....	61
4.5. En Fazla Yayın Yapan Üniversitelerin ve Kurumların Yayın Sayıları....	67
4.6. En Fazla Atıf Alan Üniversitelerin ve Kurumların Atıf Sayıları.....	73
4.7. Yayınların Dergilere Göre Dağılımı.....	78
5. TARTIŞMA.....	88
5.1. Makalelerde Yer Alan Anahtar Kelimeler ve Anahtar Kelimelerin Yıllara Göre Dağılımı.....	88
5.2. Konuyla İlgili En Fazla Makale Yazan Yazarlar.....	95
5.3. Konuyla İlgili En Fazla Atıf Alan Yazarlar.....	97
5.4. Konuyla İlgili En Fazla Yayın Yapan Üniversiteler ve Kurumlar.....	100
5.5. Konuyla İlgili En Fazla Atıf Alan Üniversiteler ve Kurumlar.....	103
5.6. Yayınların Dergilere Göre Dağılımı.....	105
6. SONUÇ.....	111
KAYNAKLAR.....	112

## TABLolar LİSTESİ

	<b>Sayfa</b>
Tablo 4.1. 1969-1980 yılları arasında bulunan makalelerde kullanılan anahtar kelimelerin eş-kelime çözümlemesi ile oluşturulan sınıflandırılma tablosu .....	21
Tablo 4.2. 1981-1990 yılları arasında bulunan makalelerde kullanılan anahtar kelimelerin eş-kelime çözümlemesi ile oluşturulan sınıflandırılma tablosu.....	24
Tablo 4.3. 1981-1990 yılları arasında bulunan makalelerde kullanılan anahtar kelimelerin kümelerle tanımlanan araştırma temalarının başlıkları.....	25
Tablo 4.4. 1991-2000 yılları arasında bulunan makalelerde kullanılan anahtar kelimelerin eş-kelime çözümlemesi ile oluşturulan sınıflandırılma tablosu .....	29
Tablo 4.5. 1991-2000 yılları arasında bulunan makalelerde kullanılan anahtar kelimelerin kümelerle tanımlanan araştırma temalarının başlıkları.....	30
Tablo 4.6. 2001-2010 yılları arasında bulunan makalelerde kullanılan anahtar kelimelerin eş-kelime çözümlemesi ile oluşturulan sınıflandırılma tablosu.....	33
Tablo 4.7. 2001-2010 yılları arasında bulunan makalelerde kullanılan anahtar kelimelerin kümelerle tanımlanan araştırma temalarının başlıkları.....	34
Tablo 4.8. 2011-2020 yılları arasında bulunan makalelerde kullanılan anahtar kelimelerin eş-kelime çözümlemesi ile oluşturulan sınıflandırılma tablosu.....	38
Tablo 4.9. 2011-2020 yılları arasında bulunan makalelerde kullanılan anahtar kelimelerin kümelerle tanımlanan araştırma temalarının başlıkları.....	41
Tablo 4.10. 1969-2020 yılları arasında bulunan makalelerde kullanılan anahtar kelimelerin eş-kelime çözümlemesi ile oluşturulan sınıflandırılma tablosu.....	45
Tablo 4.11. 1969-2020 yılları arasında bulunan makalelerde kullanılan anahtar kelimelerin kümelerle tanımlanan araştırma temalarının başlıkları.....	50
Tablo 4.12. 1969-1980 yılları arasında en fazla makale yazan yazarlar.....	56
Tablo 4.13. 1981-1990 yılları arasında en fazla makale yazan yazarlar.....	56
Tablo 4.14. 1991-2000 yılları arasında en fazla makale yazan yazarlar.....	57
Tablo 4.15. 2001-2010 yılları arasında en fazla makale yazan yazarlar.....	58

Tablo 4.16. 2011-2020 yılları arasında en fazla makale yazan yazarlar.....	59
Tablo 4.17. 1969-2020 yılları arasında en fazla makale yazan yazarlar.....	60
Tablo 4.18. 1969-1980 yılları arasında en fazla atıf alan yazarlar.....	61
Tablo 4.19. 1981-1990 yılları arasında en fazla atıf alan yazarlar.....	62
Tablo 4.20. 1991-2000 yılları arasında en fazla atıf alan ilk 30 sıradaki yazarlar.....	62
Tablo 4.21. 2001-2010 yılları arasında en fazla atıf alan ilk 30 sıradaki yazarlar.....	64
Tablo 4.22. 2011-2020 yılları arasında en fazla atıf alan ilk 30 sıradaki yazarlar.....	65
Tablo 4.23. 1969-2020 yılları arasında en fazla atıf alan ilk 30 sıradaki yazarlar.....	66
Tablo 4.24. 1969-1980 yılları arasında en fazla yayın yapan üniversiteler ve kurumlar.....	67
Tablo 4.25. 1981-1990 yılları arasında en fazla yayın yapan üniversiteler ve kurumlar.....	68
Tablo 4.26. 1991-2000 yılları arasında en fazla yayın yapan üniversiteler ve kurumlar.....	68
Tablo 4.27. 2001-2010 yılları arasında en fazla yayın yapan üniversiteler ve kurumlar.....	69
Tablo 4.28. 2011-2020 yılları arasında en fazla yayın yapan üniversiteler ve kurumlar.....	71
Tablo 4.29. 1969-2020 yılları arasında en fazla yayın yapan üniversiteler ve kurumlar.....	72
Tablo 4.30. 1969-1980 yılları arasında en fazla atıf alan üniversiteler ve kurumlar.....	73
Tablo 4.31. 1981-1990 yılları arasında en fazla atıf alan üniversiteler ve kurumlar.....	74
Tablo 4.32. 1991-2000 yılları arasında en fazla atıf alan üniversiteler ve kurumlar.....	75
Tablo 4.33. 2001-2010 yılları arasında en fazla atıf alan üniversiteler ve kurumlar.....	76
Tablo 4.34. 2011-2020 yılları arasında en fazla atıf alan üniversiteler ve kurumlar.....	77

Tablo 4.35. 1969-2020 yılları arasında en fazla atıf alan üniversiteler ve kurumlar.....	78
Tablo 4.36. 1969-1980 yılları arasında bulunan makalelerin dergilere göre dağılımı.....	79
Tablo 4.37. 1981-1990 yılları arasında bulunan makalelerin dergilere göre dağılımı.....	80
Tablo 4.38. 1991-2000 yılları arasında bulunan makalelerin dergilere göre dağılımı.....	81
Tablo 4.39. 2001-2010 yılları arasında bulunan makalelerin dergilere göre dağılımı.....	82
Tablo 4.40. 2011-2020 yılları arasında bulunan makalelerin dergilere göre dağılımı.....	84
Tablo 4.41. 1969-2020 yılları arasında bulunan makalelerin dergilere göre dağılımı.....	86

## ŞEKİLLER LİSTESİ

	<b>Sayfa</b>
Şekil 2.1. Sayısal tasarımın tarihsel gelişimi.....	9
Şekil 3.1. Bibliyometri, Enformetri, Bilimetri, Sibermetri ve Webometrinin kütüphane ve bilgi bilimi alanları arasındaki ilişkileri.....	11
Şekil 3.2. Bilimlerin çok boyutlu bir problem olarak incelenmesi.....	12
Şekil 3.3. Anahtar sözcük arama kombinasyonları.....	16
Şekil 3.4. İş akışı şeması.....	19
Şekil 4.1. 1969-1980 yılları arasında bulunan makalelerde kullanılan anahtar kelimelerin eş kelime çözümlemesi ile oluşturulan ağ diyagramı.....	20
Şekil 4.2. 1981-1990 yılları arasında bulunan makalelerde kullanılan anahtar kelimeler.....	22
Şekil 4.3. 1981-1990 yılları arasında bulunan makalelerde kullanılan anahtar kelimelerin eş kelime çözümlemesi ile oluşturulan ağ diyagramı.....	23
Şekil 4.4. 1991-2000 yılları arasında bulunan makalelerde kullanılan anahtar kelimeler.....	27
Şekil 4.5. 1991-2000 yılları arasında bulunan makalelerde kullanılan anahtar kelimelerin eş kelime çözümlemesi ile oluşturulan ağ diyagramı.....	28
Şekil 4.6. 2001-2010 yılları arasında bulunan makalelerde kullanılan anahtar kelimeler.....	31
Şekil 4.7. 2001-2010 yılları arasında bulunan makalelerde kullanılan anahtar kelimelerin eş kelime çözümlemesi ile oluşturulan ağ diyagramı.....	32
Şekil 4.8. 2011-2020 yılları arasında bulunan makalelerde kullanılan anahtar kelimeler.....	36
Şekil 4.9. 2011-2020 yılları arasında bulunan makalelerde kullanılan anahtar kelimelerin eş kelime çözümlemesi ile oluşturulan ağ diyagramı.....	37
Şekil 4.10. 1969-2020 yılları arasında bulunan makalelerde kullanılan anahtar kelimeler.....	43
Şekil 4.11. 1969-2020 yılları arasında bulunan makalelerde kullanılan anahtar kelimelerin eş kelime çözümlemesi ile oluşturulan ağ diyagramı.....	44
Şekil 4.12. 1981-1990 yılları arasında bulunan makalelerde kullanılan anahtar kelimelerin ortalama yayın yılı.....	52

Şekil 4.13. 1991-2000 yılları arasında bulunan makalelerde kullanılan anahtar kelimelerin ortalama yayın yılı.....	53
Şekil 4.14. 2001-2010 yılları arasında bulunan makalelerde kullanılan anahtar kelimelerin ortalama yayın yılı.....	54
Şekil 4.15. 2011-2020 yılları arasında bulunan makalelerde kullanılan anahtar kelimelerin ortalama yayın yılı.....	55



## SİMGELER VE KISALTMALAR LİSTESİ

ACADIA	Association of Computer Aided Design in Architecture
ASCE	American Society of Civil Engineers
BIM	Building Information Modeling (Yapı Bilgi Modelleme)
BLDSC	British Library Document Supply Center
CAAD	Computer-Aided Architectural Design(Bilgisayar Destekli Mimari Tasarım)
CAADRIA	Computer Aided Architectural Design Research in Asia
CAD	Computer-Aided Design (Bilgisayar Destekli Tasarım)
CFD	Computational Fluid Dynamics (Hesaplamalı Akışkanlar Dinamiği)
CSCW	Computer-Supported Cooperative Work
eCAADe	Education in Computer Aided Architectural Design in Europe
GIS	Geographical Information Systems (Coğrafi Bilgi Sistemleri)
HVAC	Heating, Ventilating and Air Conditioning
IEEE	The Institute of Electrical and Electronics Engineers
IFC	Industry Foundation Classes
SCI	Science Citation Index
SIGraDi	Sociedad Iberoamericana de Grafica Digital
STRESS	Structural Engineering Systems Solver
VOS	Visualization of Similarities
VRML	Virtual Reality Modelling Language
WoS	Web of Science

# 1. GİRİŞ

Sayısal tasarım günümüz mimarlık teori ve uygulamalarında önemli bir yere sahiptir. Bu alanda son elli yılda pek çok araştırma yapılmış ve hatırı sayılır bir bilgi birikimi oluşmuştur. Bu birikimler sayesinde sayısal tasarım, mimarlık disiplini başta olmak üzere birçok disiplinde önemli bir yer edinmiştir. Buna rağmen mimarlıkta sayısal tasarım üstüne kapsamlı bir bibliyometrik analiz henüz yapılmamıştır. Bu eksikliği kapamak üzere kurgulanmış olan bu tez, mimarlıkta sayısal tasarım araştırmalarının bibliyometrik analiz tekniklerini kullanarak panoramik bir görüntüsünü oluşturmayı hedeflemektedir.

Bibliyometrik analiz en genel tanımıyla belli bir kategorideki yayınların kantitatif ve istatistiksel olarak incelenmesi demektir. Bu tür analizlerde yazarlar, anahtar kelimeler, atıflar, ilgili kurumlar gibi veriler kullanılarak bir araştırma alanı içindeki eğilimler ve öne çıkan unsurlar belirlenebilir. Bu bilgiler araştırmacıların ve araştırma kurumlarının üretkenliğini ve etkililiğini belirlemede, araştırma ağlarının ve işbirliklerinin anlaşılmasında, bir alanda öne çıkan kaynakların listelenmesinde, araştırma alanı/konusuyla ilgili anahtar kelimelerin ve bunların ilişkilerinin belirlenmesinde ve daha pek çok amaçla kullanılabilir [1]. Bibliyometrik analizde bu bilgilerin açığa çıkarılması için yayınlarla ilgili çeşitli metrikler üzerinden hesaplamalar yapılmaktadır [2]. Bibliyometrik ve scientometrik yöntemler, bilgi bilimi, sosyoloji ve bilim tarihinden araştırma değerlendirme ve bilimsel politikaya kadar uzanan çok sayıda ve çeşitli uygulama alanlarına sahiptir [3].

Bu çalışma 1969-2020 yılları arasında Scopus® tarafından çeşitli anahtar sözcüklerle yapılan arama kombinasyonlarıyla indekslenen makalelerdeki sayısal tasarıma ait kavramların ve bunlar arasındaki ilişkilerin, yazarların, dergilerin, üniversitelerin ve atıfların tespit edilip karşılaştırılmasını hedeflemektedir. Araştırmada incelenen bibliyometrik veriler şöyledir:

- Makalelerde Yer Alan Anahtar Sözcükler ve Bunların Arasındaki İlişkiler
- Makalelerde Kullanılan Anahtar Kelimelerin Yıllara Göre Dağılımı (Yapılan bu araştırmanın sonucunda sayısal tasarımla ilgili anahtar kelimelerin yıllara göre değişimi keşfedilip, incelenecektir)
- Konuyla İlgili En Fazla Makale Yazan Yazarlar
- Konuyla İlgili En Fazla Atıf Alan Yazarlar
- En Fazla Yayın Yapan Üniversitelerin ve Kurumların Yayın Sayıları
- En Fazla Atıf Alan Üniversitelerin ve Kurumların Atıf Sayıları

- Yayınların Dergilere göre Dağılımı

Mimarlıkta sayısal tasarım alanı ile ilgili henüz kapsamlı bir bibliyometrik analiz yapılmadığı için bu çalışmada yapılan analizler araştırma alanını haritalama ve son elli yılda bu alanda oluşmuş trendleri belirleme konusunda önemli bir katkıda bulunacaktır. Sayısal tasarımın tanımı, mimarlıktaki yerinin ne olduğu, alanda önemli rollere sahip yazarları, sayısal tasarımla ilgili dönüm noktası olan olayları, hangi üniversite ve kurumların alanda etkin olduğunu ve hangi dergilerin sayısal tasarım araştırmalarını içerdiğini anlamaya yönelik yazılan bu tez alanla ilgili birçok konuya ışık tutmuştur.

Tez altı bölümden oluşmaktadır. Bölümler sırasıyla şu şekilde düzenlenmiştir: Tezin ilk bölümü, tezin problem tanımı, amacı, önemi ve yapısını tanıtmaktadır. İkinci bölümde sayısal tasarımın tanımından, tarihçesinden ve mimarlıktaki yerinden bahsedilmektedir. Sayısal tasarımın yıllara göre gelişimini daha iyi anlamak için sayısal tasarımın tarihçesi onar yıllık periyotlara bölünüp 1950'ler, 1960'lar, 1970'ler, 1980'ler, 1990'lar, 2000 2010'lar ve 2010-2020'ler olarak incelenmektedir. Üçüncü bölüm araştırma yöntemlerine odaklanmaktadır. Tezde kullanılan bibliyometrik analiz, bilimetric analiz, Scopus® veri tabanı ve VOSviewer© programı bu kısımda anlatılmaktadır. Bu bölümde ayrıca bibliyometrik arama süreci, verilerin düzenlenmesi, elde edilen verilerin işlenmesi, analizi ve görselleştirilme aşamaları anlatılmaktadır. Dördüncü bölümde ise araştırmanın bulgularından bahsedilmektedir. Bu bölümde, makalelerde yer alan anahtar sözcükler ve bunların arasındaki ilişkiler, makalelerde kullanılan anahtar kelimelerin yıllara göre dağılımı, konuyla ilgili en fazla makale yazan yazarlar, en fazla atıf alan yazarlar, en fazla yayın yapan üniversitelerin ve kurumların yayın sayıları, en fazla atıf alan üniversitelerin ve kurumların atıf sayıları ve yayınların dergilere göre dağılımı başlıklarına yer verilmektedir. Beşinci bölüm ise bulgulardan elde edilen sonuçlar ışığında oluşturulan tartışmayı okuyucuya sunmaktadır. Son bölüm olan sonuç kısmı ise tezden beklenen yararlar ve tezin bilimsel katkılarından oluşmaktadır.

## 2. SAYISAL TASARIM

Tezin bu bölümünde sayısal tasarımın tanımı, tarihçesi ve mimarlıkta sayısal tasarım konuları tartışılacaktır.

### 2.1. Sayısal Tasarımın Tanımı

Sayısal tasarım, hesaplama izlemlerinin tasarım sürecine uygulanmasıdır. Sayısal tasarım, tasarım kararlarını ve sürecini hesaplamalı düşünce ve bilgisayar dili olan kodlamalar yardımıyla geliştirmeyi amaçlamaktadır. Böylelikle sayısal tasarım bilgiyi ve belirli bir hesaplamalı çevreyi kuran elemanlar arasındaki etkileşimin işlenmesi olarak tanımlanmaktadır [4]. Sayısal tasarım süreci bilgileri yalnızca depolamanın ve düzenlemenin ötesinde girilen verilerden yeni bilgiler üreten yöntemleri içermektedir [4]. Sayısal tasarımla ilişkili birçok terim de ortaya çıkmıştır. Bunlar: algoritmik tasarım, üretken tasarım ve parametrik tasarımdır.

Sayısal Bilim (Computational Science) günümüzde, geleneksel bilimin kompleks problemleri ile mühendislik, ulusal güvenlik, sağlık, ekonomi vb. alanlarda karşılaşılan problemlerin çözümlenmesinde başvurulan kaçınılmaz bir yöntemdir [5].

Sayısal terimi İngilizcede computation olarak geçmektedir. Computation kelimesi etimolojik olarak incelendiğinde Latince computare'den geldiği görülmektedir (Rapaport, 2020). Kelime bölünüp incelendiğinde; “com” ile anlamına, “putare” yerleşmek, temizlemek, hesaplamak anlamına gelmektedir. Böylelikle Antik Roma'da computation kelimesi “işleri bir araya getirmek” veya “bir şeyi hesaba katmak” anlamına gelmektedir [6]. Bu durum hesaplama ve sayısal kavramının tarihinin eskilere dayandığını göstermektedir. Bu nedenle sayısal tasarım kavramı en yeni bilgisayar yazılımından, cihazlardan, 3 boyutlu yazıcılardan bağımsız entelektüel bir girişimdir [7]. Arno Borst'un yazdığı “Computus: Avrupa Tarihinde Zaman ve Sayı” adlı kitabı “zaman hesabı bilgisi” anlamına gelen “computus” kavramının computation (sayısal) sözcüğüyle benzerliğini ele almıştır [8]. Kitapta sayıların tarihteki kültürel anlamları ve gündelik yaşam içindeki yerleri kronolojik bir sırayla anlatılmaktadır.

Computation Türkçeye tam olarak çevrilebilmiş değildir. “Computation” terimi incelendiğinde computer (bilgisayar) ile olan ilişkisi görülmektedir. Bundan yola çıkarak “computation” terimi; hesaplama, bilgi sayma ya da sayısal olarak Türkçeye çevrilebilir. Böylelikle “computational design” hesaplamalı tasarım ya da sayısal tasarım olarak

çevrilebilmektedir. Bunun yanı sıra “digital design” terimi de Türkçeye sayısal tasarım olarak çevrilmiştir. Genel olarak tüm bu kavramlar sayılarla ve saymak eylemiyle ilgilidir. Saymak eyleminin arkasında belirli bir kurallar bütünü ve bunlarla ilişkili bir algoritma vardır [9].

TMMOB Mimarlar Odası Ankara Şubesinin her ay yayımlanan dergilerden Kasım 2012 Dosya 29 sayısı hesaplamalı tasarım (computational design) adı altında çıkmıştır. Dergide Massachusetts Cambridge’deki Massachusetts Teknoloji Enstitüsü’nde (MIT) Tasarım ve Hesaplama grubunun kuruluşunda önemli rol oynayan Prof. Dr. George Stiny’nin Tasarım ve Hesaplama Bölümünde doktora yapan aynı zamanda Dosya 29’un editörlüğünü yapan Onur Yüce Gün ile hesaplama ve tasarım üzerine bir söyleşi bulunmaktadır. Bu söyleşide tasarım ve hesaplama/sayısal ilişkisi üzerine durulmuştur. Dosya 29’da “computation” sözcüğü kompütasyon ve “computational” sözcüğü ise kompütasyonel olarak Türkçeye çevrilmiştir [7]. Stiny hesaplamayı tasarıma destek veren ikinci bir öge olarak değil tasarıma eş bir terim olarak görmektedir.

Özel Dosya: Mimarlıkta Sayısal Tasarım 2010: Teknolojiler, Yöntemler ve Bilgi Yönetimi kitabındaki “İşlemsel: Bilim-Tasarım-Düşünce ve Mimarlık” adlı yazısında Çolakoğlu (2011) “computational” teriminin Türkiye’de henüz oturmamış bir terminoloji olduğundan bahsetmiştir ve yazıda “computational” terimi işlemsel olarak çevrilmiştir. Bu terim farklı kaynaklarda hesaplamalı veya işlemsel olarak kullanılmaktadır [5].

Ülkemizdeki çeşitli üniversitelerde bu konularla ilgili çalışmalar yapan akademisyenlerin 2006 yılından beri her yıl düzenledikleri ulusal sempozyumun adı “Mimarlıkta Sayısal Tasarım Ulusal Sempozyumu” (MSTAS)’dır. Bu da benzer terimlerin içinde sayısal tasarım teriminin daha çok kabul gördüğünü ve bu alanı genel olarak tanımlamak için yaygın olarak kullanıldığını göstermektedir. Bu nedenle tez başlığında ve içeriğinde “sayısal tasarım” terimi tercih edilmiştir.

## **2.2. Sayısal Tasarımın Tarihçesi ve Mimarlıkta Sayısal Tasarım**

Sayısal tasarımın tarihsel gelişim sürecini anlayabilmek için bilgisayarın üretken, düşünsel ve tarihsel süreçlerini de incelemek gerekmektedir.

Sayısal tasarım 1990’larda etkili olmaya başlayan bir terim olsa da aslında 1960’larda ortaya çıkan gelişmelerin ve teknolojik keşiflerin sonucudur [10]. Sayısal tasarım ilk olarak yapay zeka, sibernetik ve matematik alanlarını etkilemiştir. Sonrasında Ivan Sutherland’in tasarım çeşitliliği, kısıtlamaları ve parametrik tasarımla ilgili fikirleri mimarlık alanında

sayısal tasarımın daha etkili olmasını sağlamıştır [4]. Sayısal tasarım paradigmasının özellikle son on yılda mimari alanda önemli olduğu ayrıca alanla ilgili konuların da gelecekte gelişeceği görülmektedir [11].

### **2.2.1. II. Dünya Savaşı ve sonrası 1950'ler**

Bilgisayarların mimarlık ve diğer disiplinlerle etkileşimini anlamak için tarihinin dönme ve bilgisayarların nasıl kullanılmaya başladığına bakmak gereklidir. Analog bilgisayarlar ve hesaplamalı düşünce yüzyıllardır var olmasına rağmen dijital bilgi işlem ve kod kırma makineleri 2. Dünya Savaşı'ndan bu yana hayatımızın bir parçası olmuştur. Colossus bilgisayarı 2. Dünya Savaşı sırasında 1944 yılında Alman yazışmalarını çözmek için üretilmiş erken dönem bilgisayarlardandır. 2. Dünya Savaşı'nda Alman şifreleme sistemi olan Enigma'yı kıran Alan Turing bugünkü bilgisayarların temel mantığını oluşturmuştur. Sonrasında 1950'lerde ilk ticari bilgisayarlar üretilmeye başlamıştır. 1957 yılında Patrick Hanratty mühendislik ile ilgili parçaların tasarımı için ilk ticari sayısal kontrol programlama sistemi olan Pronto'yu üretmiştir. Pronto sistemi bilinen ilk CAD (Computer Aided Design) prototipidir.

### **2.2.2. 1960'lar**

Erken modern bilgisayarlar, bilim adamları ve matematikçiler tarafından otomasyon aracı olarak kullanılmıştır. Örneğin, ilk modern bilgisayarlardan kabul edilen örüntü tanıma ve fiziksel simülasyonlar için matematiksel görevleri hesaplayan ENIAC, 1963 yılında üretilmiş ve bu hesaplamaları daha güvenilir, kesin ve hızlı bir şekilde yapmak için kullanılmıştır. Aynı yıl MIT'de Ivan Sutherland tarafından icat edilen Sketchpad insanların ve bilgisayarların çizimlerle iletişim kurmalarını sağlamıştır. Sketchpad sanatçılara, mimarlara ve tasarımcılara bilgi işleme işlevi sunmayı amaçlamıştır. Sutherland, Sketchpad ile etkileşimli ve görsel bir arayüz yaratmıştır. Sketchpad tarihte ilk defa bilgisayar programlama ve bilgisayar kullanımını birbirinden ayırmıştır. Söz konusu bu buluşta iki etkileşim aracı vardır. Bunlar: tasarımcının 2 boyutlu ve 3 boyutlu grafikleri doğrudan bilgisayar ekranında çizmesini sağlayan hafif bir kalem ve bir basma düğmesi yuvasıdır.

Dönemin bir diğer önemli gelişmesi, katı modellemenin temelini oluşturan ve Coons Patch adlı yüzey kaplama tekniklerini tanıtan Steve Coons'un ilk defa Bilgisayar Destekli Tasarım (CAD) terimini kullanmasıdır [12]. 1963 yılında Sutherland'in geliştirdiği

Sketchpad ve Coons'un katı modellemeyle ilgili yaptığı çalışmalar sayısal tasarım alanında dönüm noktaları olmuştur [13].

Tasarımın bilimsel ve rasyonel olarak ele alınması İngiltere'de düzenlenen bir dizi konferans ve sempozyumla başlamıştır. Bu konferansların başlangıcı ve öncüsü olarak kabul edilen etkinlik 1962 yılında düzenlenen Tasarım Yöntemleri Konferansı'dır [14]. 1960'larda bir söylem olarak ortaya çıkan tasarım yöntemleri hareketi (design methods movement) resmi olarak 1966'da düzenlenen bir konferansta kurulmuştur [15]. Tasarım yöntemleri hareketini farklı disiplinlerden araştırmacılar başlatmıştır. Makine mühendisi ve endüstri ürünleri tasarımcısı Bruce Archer, matematikçi Horst Rittel, matematikçi Christopher Alexander ve tasarımcı John Chris Jones tasarım yöntemlerini kuran ekiptir. Kuramcılar, bilim insanları ve mühendisler tasarım olgusunu derinlemesine araştırmıştır. Bunun sonucunda tasarım olgusu Morris Asimov'un 1962 yılında deyimleştirdiği biçimi ile tasarım bilimine dönüşmüştür [14]. Tasarım yöntemleri hareketi ile sistematik bir şekilde farklı disiplinler ve perspektifler kullanılarak sayısal yöntemlerin daha geniş bir çerçevede incelenip bilişsel ve algısal yönlerine vurgu yapılmıştır. Disiplinler arası yapılan araştırmalar sonucunda bilgi işleme, karar alma ve karmaşık sistemler gibi yeni bilimsel alanlar ortaya çıkmıştır. 1967 yılında MIT'de Nicholas Negroponte öncülüğünde kurulan Mimarlık Makine Grubu (AMG) da sonraki yıllarda alanda öncü bir duruma gelmiştir.

### **2.2.3. 1970'ler**

1970'de Nicholas Negroponte'nin Mimari Makine (The Architecture Machine) adlı kitabı Mimarlık Makine Grubunun misyonunun özünü oluşturur. Bu misyon, makinelerin yaratıcı süreci ve daha genel olarak mimari üretimi nasıl geliştirebileceğini araştırmaktır. Aynı yıl University of Strathclyde Mimarlık ve Yapı Bilimleri Bölümünde yer alan Mimarlık ve Yapı Yardımcıları Bilgisayar Biriminde Tom Maver öncülüğünde kurulan ABACUS (Architecture and Building Aids Computer Unit, Strathclyde), bilgisayarların mimaride ve bina tasarımında etkili bir şekilde kullanılmasını teşvik etmek amacıyla kurulmuş bir araştırma grubudur. Patrick Hanratty tarafından tasarlanan ve bir interaktif grafik tasarım, taslak hazırlama ve üretim sistemi olarak Fortran'da yazılan ADAM, 1971 yılında üretilmiştir. Bu yazılım hemen hemen her makinede çalışacak şekilde tasarlanmıştır. Günümüzde kullanılan CAD programlarının kökleri ADAM'a dayanmaktadır. 1975 yılında Altair 8800 adında ilk kişisel bilgisayar üretilmiştir.

#### **2.2.4. 1980'ler**

1980'lerde bilgisayar grafikleriyle sayısal süreçleri birleştiren CAD/CAM sistemleri ortaya çıkmıştır. 1981 yılında Dassault Systems tarafından üretilmiş olan CATIA çok platformlu bir CAD yazılımı olup hala kullanılmaktadır. AutoCAD, 1982'de Autodesk tarafından ana bilgisayar veya mini bilgisayarlar yerine PC'ler için üretilen ilk 2 boyutlu CAD yazılımıdır. Pro/Engineer 1987'de Sketchpad'ın mantığıyla yazılmış olup katı modellemelere dayanan ilk temel CAD programıdır. Kullanımı kolay ve hızlı olmasından dolayı CAD tarihinde önemli bir yere sahiptir. Bununla birlikte 1980'lerin ortalarına kadar bilgisayarlar çok pahalı olduğundan herkesin ulaşması zordu. 1980'lerin ikinci yarısında kişisel bilgisayarların gelişmesiyle ve ucuzlamasıyla birlikte bilgisayarlar daha ulaşılabilir olmuştur. 1980'lerin ikinci yarısında bilgi tabanlı sistemler ortaya çıkmıştır. Bilgi tabanlı sistem belirli bir sorunu çözmek için uygulanan kuralların bilgisayara öğretilmesidir.

Ayrıca 1980'lerin başında mimarlık alanında bilgisayar destekli tasarımla ilgili birçok topluluk kurulmuştur. 1981 yılında sayısal tasarım alanında önemli yere sahip olan araştırmacılardan Chuck Eastman, Ulrich Flemming ve Yehuda E. Kalay Mimarlıkta Bilgisayar Destekli Tasarım Derneğini (ACADIA) kurmuştur. Sonrasında 1983 yılında Tom Maver'in öncülüğünde Avrupa'da Bilgisayar Destekli Mimari Tasarımda Eğitim ve Araştırma Topluluğu (ECAADe), Tom Maver, Rik Schijf ve Harry Wagter öncülüğünde CAADFutures kurulmuştur.

#### **2.2.5. 1990'lar**

Autodesk AutoCAD programını AutoCAD R13 programıyla 1994'te 3 boyuta uyumlu hale getirilmiştir. Bununla birlikte 1990'larda görselleştirme, akıllı tasarım asistanları, sanal gerçeklik ve fotogerçekçi temsiller önem kazanmıştır. 1996 yılında MIT Mimarlık Bölümünde George Stiny, Terry Knight ve William J. Mitchell öncülüğünde Design and Computation grubu kurulmuştur. Design and Computation grubunun hedefi bilgisayar uygulamaları üzerine yoğunlaşmak yerine sayısal tasarım kuramını geliştirip ona vurgu yapmaktır. Sayısal bakış açısını tasarımın her aşamasına entegre etmek amaçlanmıştır. Aynı yıl John Gero liderliğinde Asya'da Bilgisayar Destekli Mimari Tasarım Araştırmaları Derneği olan CAADRIA kurulmuştur. 1990'ların ortalarında nesne tabanlı sistemler ortaya çıkmıştır. Nesne tabanlı sistemlerin temel fikri kodları ve verileri aynı nesnede birleştirmektir. Bunun sonucunda bütünleşik tasarım sistemlerinin de temeli atılmıştır.

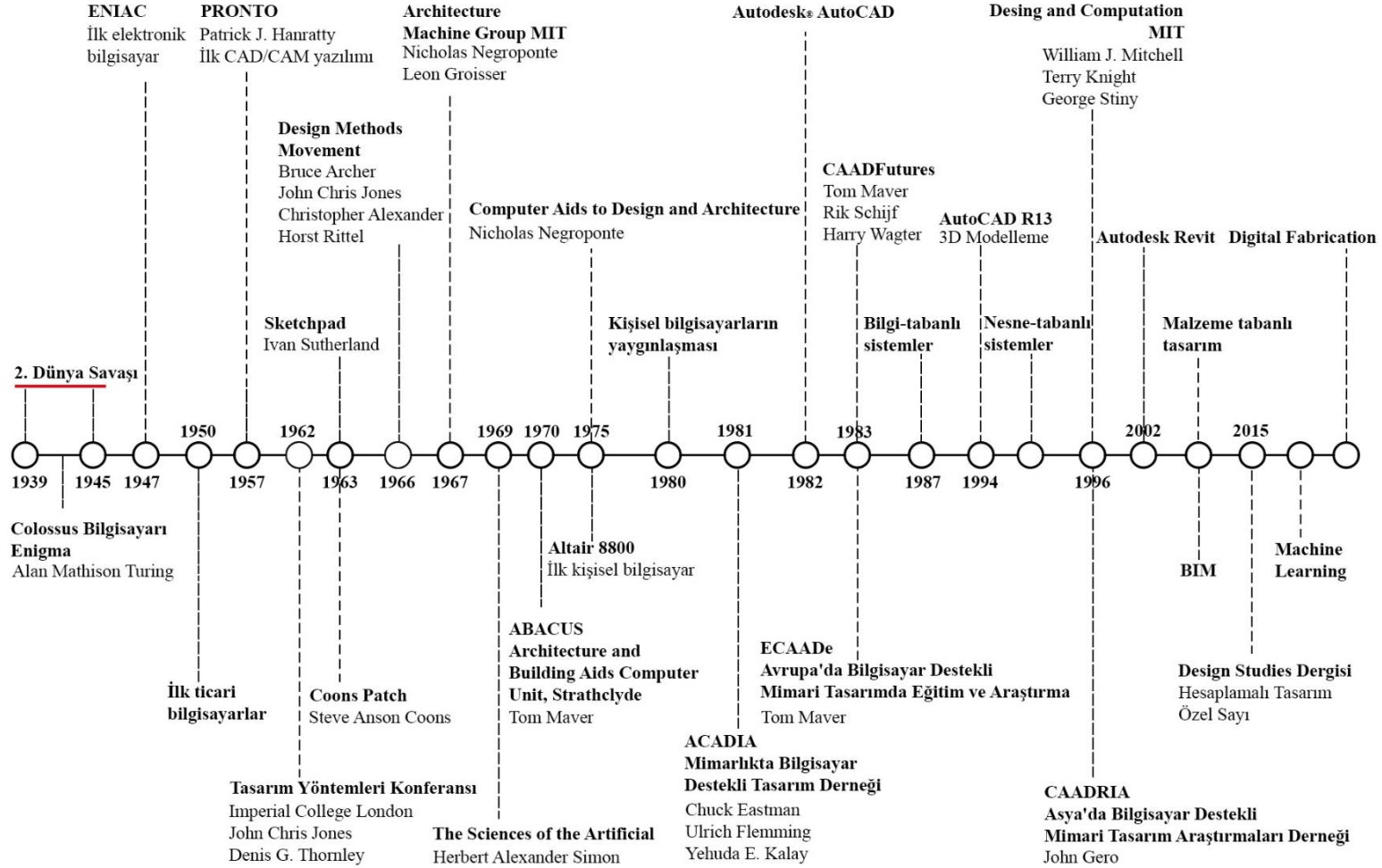


### **2.2.6. 2000-2010'lar**

SolidWorks 95 1995'de Dassault Systems tarafından üretilmiştir. Kullanım kolaylığı sağlayan yazılım, 3 boyutlu CAD teknolojisinden daha fazla mühendisin kullanımına olanak sağlamıştır. 2000'lerde nesne tabanlı sistemleri daha ileri götüren yapı bilgi modelleme sistemleri önem kazanmıştır [13]. Yapı bilgi modellemesi sistemleri için geliştirilen birçok tasarım aracı mevcuttur. Bunların belli başlıları, Charles River Software tarafından geliştirilen ve 2002 yılında Autodesk tarafından satın alınan Revit® programı ve Graphisoft ArchiCAD®'dir.

### **2.2.7. 2010-2020'ler**

2000'li yıllarda gelişmekte olan Yapı Bilgi Modelleme (BIM) kavramı etkisini 2010'larda daha çok göstermiştir. Bununla birlikte 2010'larda yapay zeka, malzeme tabanlı tasarım, makine öğrenmesi konuları da önem kazanmıştır. Yapay zekayı tasarıma dahil etmek tasarımcılara makine öğrenmesi ile tasarım hatalarını öngörerek erken müdahale avantajını kazandırmaktadır. Bu yıllarda sayısal tasarım genetik programlama, malzeme tabanlı tasarım, uzman sistemler ve sayısal imalatla bütünleşik olarak çalışmaktadır. Ayrıca sayısal tasarım 2000'lerde başta mühendislik alanlarında olmak üzere disiplinler arası bir alan haline gelmiştir. Bunun sonucunda bazı terimler de daha sık kullanılmaya ve literatürde geçmeye başlamıştır. Bu terimlerden bazıları hesaplamalı akışkanlar dinamiği (CFD), üretken sistemler ve çok ajanlı sistemlerdir. Şekil 2.1.'de sayısal tasarımın tarihsel gelişimi görsel olarak sunulmuştur.



Şekil 2.1. Sayısal Tasarımın Tarihsel Gelişimi (Rezzan Efil Erdoğan tarafından üretilmiştir.)

### 3. ARAŞTIRMA YÖNTEMİ

Tezin bu bölümünde araştırmada kullanılan yöntemler sırasıyla anlatılacaktır. Bibliyometrik analiz, bilimetric analiz, Scopus®, VOSviewer© ve arama sürecinden bahsedilmiştir.

#### 3.1. Bibliyometrik Analiz

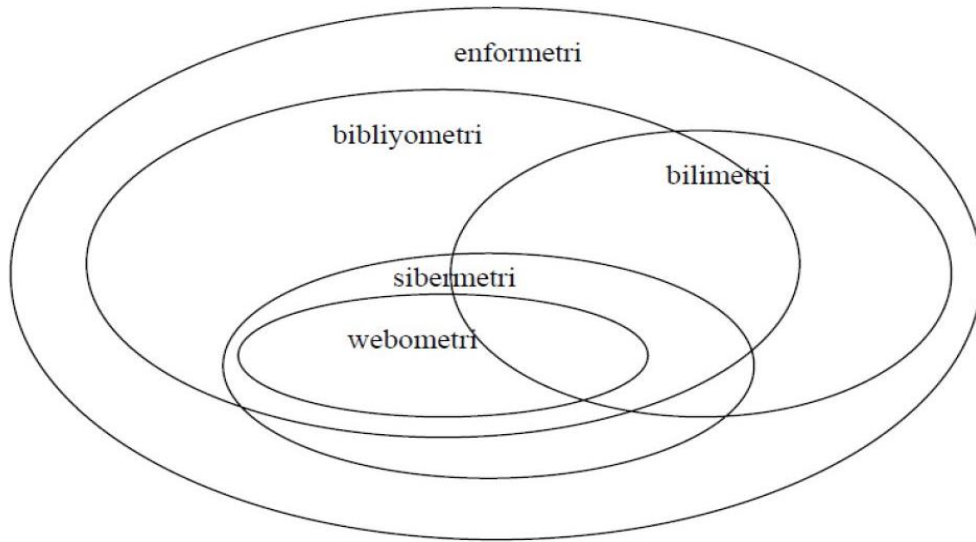
Bibliyometri, matematiksel ve istatistiksel yöntemlerin kitaplar ve diğer yayınlar üzerinde uygulanmasıdır [16]. Bibliyometri kütüphanecilik ve bilginilimde kullanılan bir araştırma yöntemidir. Belirli bir alandaki yayın örüntülerini tanımlamak için yapılan niceliksel ve istatistiksel analizler bibliyometrinin konusudur. Bibliyometrik analiz, bir araştırma alanını yansıtmaya, güçlü ve zayıf alanlarını belirleme konusunda önemli bir rol oynamaktadır. Bunun yanı sıra yazarların üretkenliklerini ve etkisini ölçmek için de kullanılır. Bibliyometrik analizin temel amacı alanın entelektüel gelişimini gözler önüne sermektir. Bibliyometri kelimesini etimolojik olarak incelersek; bibliyon kitap, metron ölçüm anlamına gelmektedir. Kütüphane materyallerinin kullanımıyla ilgili ilk önemli çalışma Britanya Ulusal Kütüphanesi Belge Sağlama Merkezi'nin (BLDSC: British Library Document Supply Centre) kurucusu Donald J. Urquhart tarafından yapılmıştır. Urquhart bibliyometrik çalışmalar yapan, kütüphanecilikte matematiksel ve istatistiksel teknikleri uygulayan "ilk" araştırmacıdır. Urquhart bilimsel ve teknik dergi kullanımlarını inceleyerek, bu kullanımlarla ilgili istatistiksel dağılımlara başvurmuştur [17].

#### 3.2. Scientometric (Bilimetric) Analiz

Bilimetricin tanımı ilk olarak 1969'da Nalimov ve Mulchenko tarafından "bilimin gelişimi üzerine yapılan araştırmaların nicel bir çalışması" olarak önerilmiştir. Bilimetric analiz araştırma etkisini ve atıf süreçlerini ölçen ve mevcut bilgileri ve bunların gelişimini büyük akademik veri kümelerine dayanan bir alanda haritalayan bir teknik olarak düşünülebilir [18]. Bilimsel çalışmaları büyüme, yapı, karşılıklı ilişkiler ve verimlilik açısından tanımlamak için kullanılır. Bilimetric terimi bilim ve teknoloji literatürünün tüm yönlerini incelemek için kullanılır. Kütüphane ve bilgi bilimi geniş bir disiplinler arası alan olduğundan, çeşitli disiplinlerden akademisyenler bu alanda yöntemlerin geliştirilmesinde rol oynamıştır [19]. Dilbilimci ve bibliyometri ve bilimetricin kurucularından Eugene

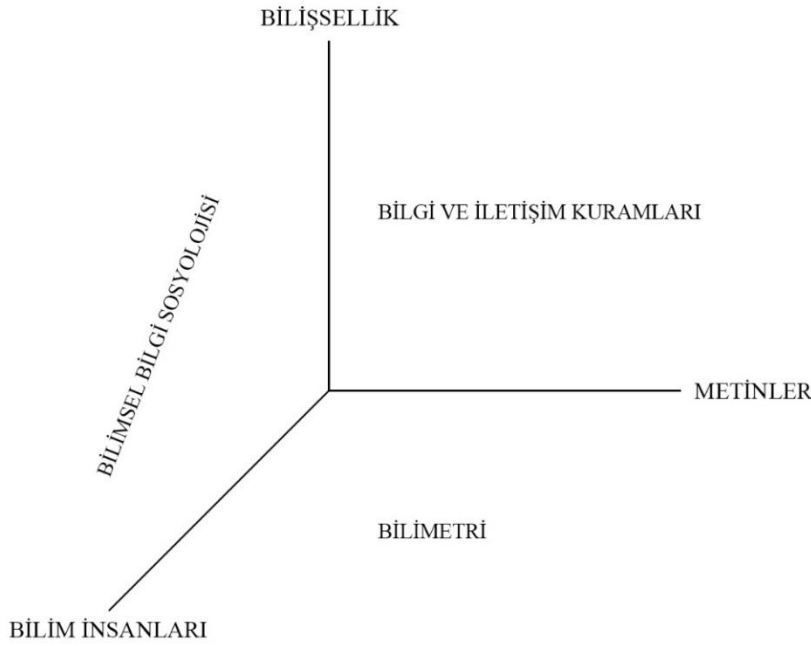
Garfield etki faktörünün geliştirilmesinde önemli bir rol oynamış ve Bilim Atf Dizini (SCI) oluşturmuştur [20]. Böylece dergilerin etki faktörü de yaygın olarak kullanılan bir bibliyometrik göstergeye dönüşmüştür. Bu önemli gelişmeden sonra Yale Üniversitesi'nde bilim tarihçisi Derek J de Solla Price ve Columbia Üniversitesi'nden sosyolog Robert K. Merton bilim atf dizini bilimin dinamiklerini ve yapısını analiz eden bir araç olarak görüp birçok çalışma yapmışlardır. Tarihçi Derek J. de Solla Price 1960'larda ve 1970'lerde yeni yeni ortaya çıkan nicel bilim çalışmalarının temelini oluşturan bir dizi kitap ve makale yayınlamıştır. Bu ilerlemelerin devamında bilimetric terimi kimyager Tibor Braun tarafından 1978 yılında Macaristan'da "Scientometrics" dergisinin yayınlanmasıyla geniş çapta yayılmıştır. Aynı yıl dergide önde gelen tarihçiler, bilim filozofları, sosyal bilimciler ve aralarında sosyolog Robert K. Merton'ın da bulunduğu bir grup "Bir Bilim Metriğine Doğru: Bilim Göstergelerinin Gelişimi" adlı bir makale yayınlamışlardır [21].

Bugüne kadar, Bilgi bilimi alanında ölçümün geliştirilmesi ve uygulanması ile ilgili, kütüphanecilik, bibliyometri, bilimetric, enformetri ve daha yakın zamanda webometri ve sibermetri gibi çeşitli metrik alanlar ortaya çıkmıştır. Bununla birlikte, Şekil 3.1.'de gösterildiği gibi tüm bu alanlar özellikle bibliyometri, enformetri ve bilimetric ile yakından ilişkilidir ve önemli çakışmalar gösterir.



Şekil 3.1. Bibliyometri, Enformetri, Bilimetric, Sibermetri ve Webometrinin kütüphane ve bilgi bilimi alanları arasındaki ilişkileri [22]

Bilimetre, davranış bilimleri ve ana akım bilim felsefesinin aksine ampirik analiz birimleri olarak metinlere (belgelere) odaklanır [21]. Şekil 3.2.'de bilimsel çalışmalarla ilgili disiplinlerin birbirleriyle olan ilişkileri gösterilmiştir. Şekilde görüldüğü gibi kelimeler metinler halinde düzenlenir, dergilerdeki bilimsel makaleler arşivlere aittir; bilim adamları bilimsel topluluklara ait araştırma grupları oluştururlar; bilgi iddiaları teorilere dayanır, teoriler disiplinlerle bütünleşmiştir.



Şekil 3.2. Bilimlerin çok boyutlu bir problem olarak incelenmesi [23]

### 3.3. Scopus®

Büyük ölçekli bibliyometrik araştırma, günümüzde Web of Science'ın (WoS) bir parçası olan Science Citation Index'in (SCI) 1963 yılında oluşturulması ve geliştirilmesiyle mümkün hale geldi [24]. Uzun yıllar boyunca Thomson Reuters ISI Web of Knowledge bilimin tüm alanlarını kapsayan tek yayın ve atıf veri tabanıydı ve böylece bibliyometrik analizde paha biçilmez bir araç haline geldi [25]. 2004 yılında Elsevier Yayınevi tarafından bilim camiasına sunulan Scopus, WoS'dan sonra en kapsamlı öz ve atıf veri tabanlarından biridir. Fen bilimleri, teknoloji, tıp, sosyal bilimler, sanat ve insani bilimler gibi farklı disiplinleri kapsayan Scopus, hakemli dergi sayısı bakımından en geniş veri tabanı olma özelliği taşımaktadır. Bu nedenle, bu tezde Scopus veri tabanı kullanılmıştır. Literatürde Scopus'u farklı yönleriyle değerlendiren birçok çalışma bulunmaktadır. Bu çalışmaların

genellikle içeriğin tanıtımı ve bu veri tabanının diğer veri tabanlarıyla karşılaştırılması, veri tabanının kullanılabilirliği ve erişilebilirliğinin ölçülmesi ile atıf sayılarının değerlendirilmesi konularıyla ilgili olduğu görülmektedir.

Web of Science (WoS), 2004'te Scopus ve Google Akademik'in oluşturulmasına kadar atıf analizi için kullanılan tek araçtı. Scopus gibi 2004 yılında kurulan Google Akademik, kolay erişimi ve kullanımı nedeniyle araştırmacılar tarafından tercih edilmektedir. Ancak, Google Akademik'te bulunan düşük veri kalitesi nedeniyle Google Akademik'in araştırma değerlendirmesine uygun olup olmaması konusu da literatürde tartışılmaktadır [26]. Bu nedenle karşılaştırmalı çalışmalarda çoğunlukla Scopus ile Web of Science (WoS) veri tabanları kıyaslanmıştır. Ayrıca bu veri tabanlarının önemli özelliği, tüm makale türlerini içermesi ve her makale için tüm yazarları, kurumsal adresleri ve bibliyografik referansları indekslemesidir. WoS-SCI (Science Citation Index) ve Scopus'un makale sayıları, atıf almayan makale sayıları, kapsadıkları alanlar gibi açılardan karşılaştırıldığı Ball ve Tunger (2006) çalışmasında her iki veri tabanının dergi seçim kriterlerine de değinilmiştir. Çalışmada dergi seçim sürecinin Scopus'ta daha farklı işlediğine ve "ne kadar çok dergi olursa o kadar iyi" stratejisinin geçerli olduğuna vurgu yapılmıştır [27]. Bu stratejinin doğal bir sonucu olarak Scopus'ta diğer veri tabanlarına (PubMed, WoS, Google Scholar) göre daha fazla sayıda derginin dizinlendiği belirtilmektedir [28].

Scopus 1969'dan 1978'e kadar uzanan 6,5 milyondan fazla kayıt, 1970'den sonra referanslar dahil 68 milyon kayıt, 8,5 milyondan fazla açık erişimli makale ve 9 milyondan fazla konferans bildirisi olmak üzere 75 milyondan fazla kayda; 24.600 etkin başlığa; monografiler dahil olmak üzere, düzenlenmiş ciltler, ana referanslar dahil çalışmalar ve yüksek lisans ders kitapları, bilim (Science), teknoloji (Technology) ve tıp (Medicine) (STM) alanları dahil sosyal bilimler ile sanat ve beşeri bilimler olmak üzere 194 binden fazla kitaba sahiptir [29]. Konu alanlarına göre Scopus içeriğinin alanları; %32 sosyal bilimler, %27 fen bilimleri, %25 sağlık bilimleri, %16 yaşam bilimleri olmak üzere 4 alana bölünmüştür.

Scopus, multidisipliner olması nedeniyle disiplinler arası aramaya olanak sağlayan bir veri tabanıdır. Scopus veri tabanı günlük olarak güncellenir bu nedenle bu veri tabanındaki veriler girilen tarihe göre değişkenlik göstermektedir. Scopus'un arayüzü ve kullanımı incelendiğinde temel ve ileri olmak üzere iki tane arama modu bulunmaktadır. Belge, yazar ve kurum olarak da arama yapılabilir. Yapılan aramaya sınırlandırma bölümünden filtre uygulanabilmektedir. Bu filtreler zaman aralığı, Scopus'un son güncellendiği tarih, belge türü ve erişim türü olmak üzere gruplanmıştır. Scopus'ta yapılan aramanın sonunda

ıkan makalelerin hangi yılda yayınlandığı, yazarları, araştırma alanları, belge türü, hangi dergide yayınlandığı, hangi yayın evresinde olduğu, anahtar sözcükleri, niversite ve kurumları, hangi ülkede yayınlandığı, kaynak türü ve hangi dilde yayınlandığı görülmektedir. Veri tabanında seçilen makalelerle bir liste oluşturulabilir ve sonrasında seçilen makaleler bibliyometrik analiz için kullanılan yazılımlarda kullanılabilmesi için birçok formatta dışarıya aktarılabilir. Bu işlem yapılırken dışa aktarım işlemi sırasında kullanılacak yöntem ve alınacak bilgiler de seçilebilmektedir. Örneğin, csv formatında aktarılacak makalelerin atıf bilgisine, zet ve anahtar kelimelerine, bibliyografik bilgisine ve referans bilgilerinin dahil olup olmamasına kadar birçok seçim yapılabilir.

### **3.4. VOSviewer©**

Bibliyometrik analiz için her biri farklı özelliklere ve kısıtlamalara sahip olan çeşitli yazılımlar kullanılmaktadır [30]. Bu tezde ise VOSviewer© yazılımı tercih edilmiştir, çünkü bu program, Web of Science© ve Scopus© gibi önemli makalelerin yer aldığı veri tabanlarından alınan bilgilerle uyumlu çalışmaktadır. Ayrıca, VOSviewer bibliyometrik analiz için gerekli olan incelemeleri ve çıkarımları yapmaya elverişli bir programdır. VOSviewer©, Leiden Üniversitesi Bilim ve Teknoloji alışmaları Merkezinde Nees Jan van Eck ve Ludo Waltman tarafından geliştirilmiştir. Bibliyometrik analiz yaparken birçok soruya cevap oluşturan VOSviewer©'ın açıklık getirdiği konular şunlardır: alandaki önemli kavramlar, araştırmacının çalışmasının alanda nasıl bir konumda yer aldığı, araştırma alanında yazan önemli yazarlar, alandaki çalışmaların en çok hangi kaynakta yayınlandığı, araştırma alanının bilimsel kökenleri ve araştırmacının alanıyla hangi anahtar kelimelerin ilişkili olduğu. Bu yazılım aracı mühendislik [31], tıp [32]; [33], evre bilimi [34], tarih [35], bilişim bilimi [36], eczacılık [37] ve bilgisayar bilimi [38] gibi farklı disiplinlerde bibliyometrik analiz amacıyla kullanılmıştır.

### **3.5. Araştırma Süreci**

Tezin bu bölümünde araştırma sürecinde arama terimlerinin tanımlanması ile kapsamlı veri analizi ve görselleştirme aşamaları detaylı olarak anlatılacaktır.

### 3.5.1. Arama terimlerinin tanımlanması

Arama terimlerinin tanımlanması için Scopus veri tabanında sayısal tasarım araştırmalarıyla ilgili birçok anahtar sözcük arama kombinasyonu yapılmıştır. Şekil 3.3.'te 02.01.2020 tarihli anahtar sözcük arama kombinasyonları ve bunlara göre Scopus'ta çıkan makale veya inceleme sayısı yer almaktadır. Aramalarda aramanın belge türü makale veya inceleme olarak kısıtlanmıştır. Bu kısıtlamanın amacı verilerin daha anlamlı bir çerçevede analiz edilebilmesidir. Disiplinler arası bir alan olan sayısal tasarım hakkında yapılan detaylı çalışmada veri kaybı olmaması için yapılan aramalar sorgulama aşamasında mimarlık alanıyla sınırlandırılmamıştır. En genel çerçevede yapılan aramada araştırma alanı comput\*, araştırma konusu (architect\* OR "building") olarak alınmıştır ve bu aramanın sonunda 197347 makale çıkmıştır. Aramada kullanılan sözcükler sayısal tasarımla ilgili temel ve önemli anahtar sözcüklerdir. Bunlar, comput\*, architect\*, building\*, architectural design, architectural education, design studio, digital, algorithm\*, CAD ve generative sözcükleridir. Tüm bu önemli anahtar sözcüklerle yapılan aramalar göz önüne bulundurulduğunda (Şekil 3) "(comput\* OR digital) AND ("architectural design" OR "building design" OR "architectural education")" anahtar dizisinin mimarlıkta sayısal tasarım alanı ile ilgili uygun içerikte ve anlamlı sayıda makaleye ulaşmayı sağladığı görülmüş ve arama bu anahtar kelimelerle yapılmıştır. Bu arama sonucunda 6157 makaleye ulaşılmıştır. Tez hazırlama sürecinde Scopusla ilgili son verilerin çekildiği tarih 31.07.2020 olmuştur. Bu tarihte 6400 makaleye ulaşılmış ve bu makaleler analize dahil edilmiştir. Daha sonra bu makalelerin künyeleri incelenip makalelerin anahtar kelimeleri analiz edilmiştir. Mimarlık alanıyla ilişkili olmayan makaleler listeden çıkartılıp veriler düzenlenmiştir. Sonuçta 1859 makale mimarlıkla ilişkili olmadığından elenmiştir. Böylelikle toplamda 4541 makale üstünden analizler yapılmıştır. Aramalar onar yıllık periyotlara bölünüp listelenmiştir. 1969-1980 yılları arasında 90 makale, 1981-1990 yılları arasında 195 makale, 1991-2000 yılları arasında 487 makale, 2001-2010 yılları arasında 1402 makale ve 2011-2020 yılları arasında ise 2367 makale analizde yer almaktadır.



Anahtar Sözcük Arama Kombinasyonları	MAKALE VEYA İNCELEME SAYISI
comput* AND (architect* OR "building")	197347
comput* AND ("architectural design" OR "building design" OR "architectural design")	5525
comput* AND ("architectural design" OR "building design" OR "architectural education")	5559
(comput* OR digital) AND ("architectural design" OR "building design" OR "architectural education")	6157
(comput* OR digital) AND ("architectural design" OR "building design" OR "architectural education" OR "design studio")	6315
(comput* OR digital OR CAD) AND ("architectural design" OR "building design" OR "architectural education" OR "design studio")	6375
(comput* OR digital OR CAD OR algorithm*) AND ("architectural design" OR "building design" OR "architectural education" OR "design studio")	7020
(comput* OR digital OR CAD OR algorithm* OR "generative") AND ("architectural design" OR "building design" OR "architectural education" OR "design studio")	7069

02.01.2020

Şekil 3.3. Anahtar sözcük arama kombinasyonları

### 3.5.2. Kapsamlı veri analizi ve görselleştirme

Son 50 yıldaki makaleler 10 yıllık periyotlara ayrılmıştır. Böylelikle onar yıllık periyotlarda değişen anahtar kümeler gösterilmiştir. Sonrasında son 50 yıldaki genel analizler sunulmuştur. Yapılan işin akışı şeması Şekil 3.4'te sunulmuştur.

#### 3.5.2.1. Anahtar Sözcüklerin Eş-Sözcük Çözümlemesi

Anahtar sözcüklerin eş-sözcük çözümlemesinde anahtar sözcükler makalelerde geçme sıklığına ve aralarındaki ilişkiye göre analiz edilmektedir. Scopus'tan alınan veriler VOSviewer programına atılmıştır. Programda analiz tipi co-occurrence olarak işaretlenip sonrasında thesaurus file (eşanlamlılar dosyası) seçilmiştir. Eşanlamlılar dosyası analizde birbirine çok benzediği için (tekil/çoğul veya aynı kelimenin farklı yazılımları vb.) aynı anahtar kelime olarak incelenmesi gereken kelimeleri belirlemek ve anahtar kelime listesinde olmaması gereken kelimeleri elemek (kurum adı, genel sözcükler, vb.) için kullanılan bir kelime listesi içermektedir ve yazar tarafından oluşturulmuştur. Bu analiz sonucunda makalelerde kullanılan anahtar kelimelerin eş-kelime çözümlemesi ile oluşturulan ağ diyagramı ortaya çıkmaktadır. Bu ağ diyagramlarında aynı kümedeki anahtar kelimeler aynı renkte gösterilmektedir. Geçme sıklığı yüksek olan kavramların simgesi daha

büyük olup aralarındaki toplam bağlantıların fazla olduğu kavramlar arasındaki çizgiler ise daha kalındır.

Anahtar kelimelerin eş-kelime çözümlemesi ile oluşturulan sınıflandırılma tablosu ve makalelerde anahtar kelimelerin geçme sıklığı tablosu ise VOSviewer'dan alınan bilgilerin csv formatında kaydedilip Microsoft Excel'de düzenlenmesiyle oluşmaktadır.

### **3.5.2.2. Anahtar Sözcüklerin Yıllara Göre Dağılımı**

Makalelerde kullanılan anahtar kelimelerin yıllara göre dağılımı analizi anahtar kelimelerin hangi yıllarda daha popüler olduğunu ve hangi yıllarda kullanımının düştüğünü göstermektedir. VOSviewer'dan alınan verilerde anahtar kelimeler ve ortalama yayınlanma yılları yer almaktadır. VOSviewer programından çekilen bu bilgiler Microsoft Excel programına aktarılıp yayın yıllarına göre anahtar kelimeler sıralanmıştır. Sıralamanın sonucunda oluşturulan tablo eski yayınlarda geçen anahtar kelimelerden yeni yayınlarda geçen anahtar kelimelere doğru sıralanmıştır.

### **3.5.2.3. Yazarların Üretkenliği**

En fazla makale yazan yazarlar analizi yazarların üretkenliği hakkında bilgi vermektedir. Scopus'tan alınan csv formatındaki veriler VOSviewer yazılımına yüklendikten sonra analiz tipi co-authorship olarak seçilip analiz birimi authors olarak işaretlenmiştir. Sonrasında yazarların yayımladıkları makale sayıları VOSviewer programından csv olarak çekilip Microsoft Excel'de düzenlemeleri yapılmıştır. Bu analizlerin sonucunda onar yıllık periyotlarda ve son 50 yılda en üretken yazarların bulunması hedeflenmiştir.

### **3.5.2.4. Yazarların Etkisi**

Yazarların etkisi makalelerin atıf alma sayılarıyla doğru orantılıdır. Bu nedenle en fazla atıf alan yazarlar analizi yapılmıştır. Analiz yapılırken Scopus aracılığıyla alınan bilgiler VOSviewer programına işlenerek citation analiz tipi seçilmiş ardından analiz birimi authors olarak belirlenmiştir. Böylelikle yıllara göre etkisi en yüksek olan yazarların bulunması amaçlanmıştır.

### **3.5.2.5. Üniversitelerin ve Kurumların Üretkenliği**

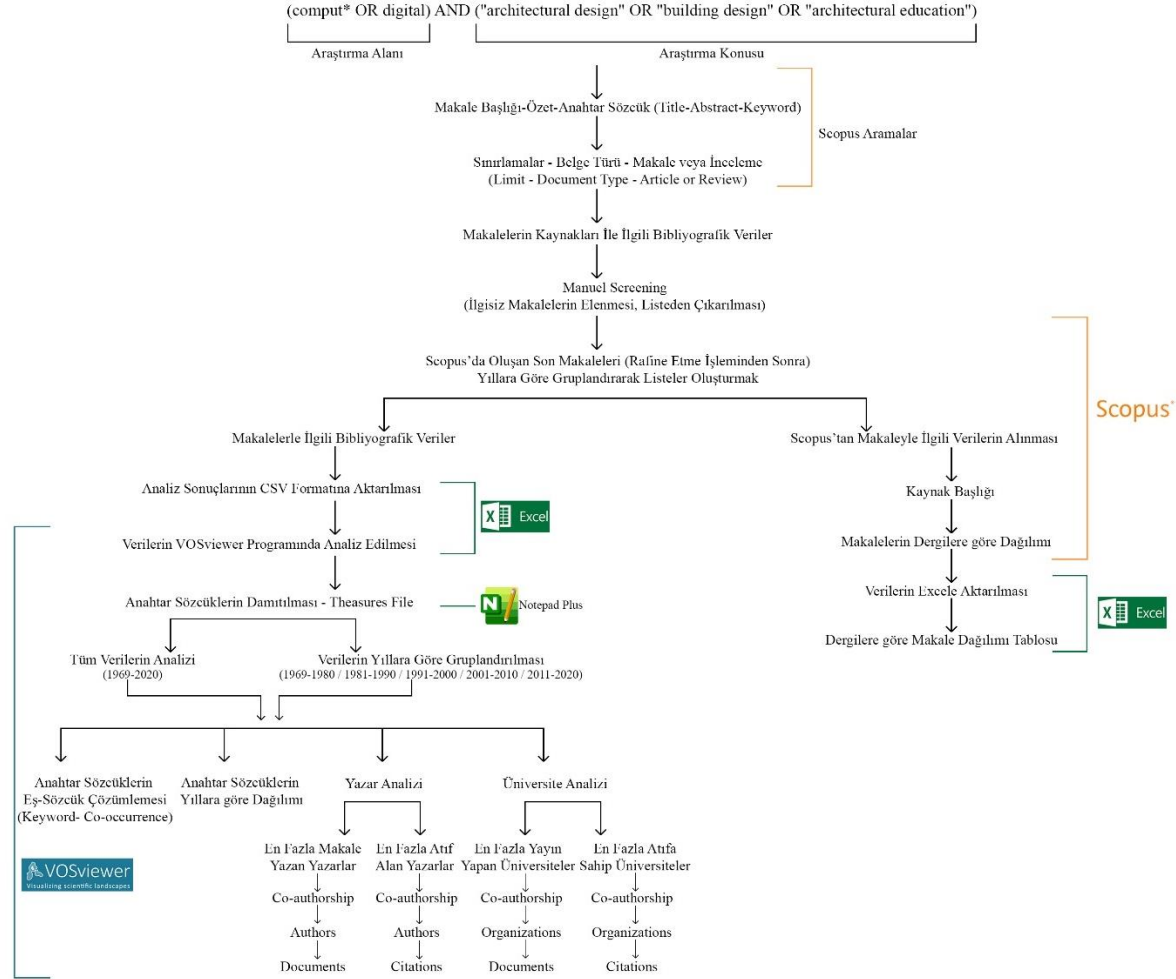
En fazla yayın yapan üniversitelerin ve kurumların analizi bunların sayısal tasarım alanındaki üretkenliği hakkında bilgi vermektedir. Scopus'tan çekilen bilgiler VOSviewer yazılımına atıldıktan sonra co-authorship ve organizations bölümleri seçilmektedir. Bunun sonucunda üniversitelerin ve kurumların yaptığı yayın sayıları bulunmaktadır. Sonrasında alınan bilgiler Microsoft Excel'e atılarak rafine edilip, tablo haline getirilmektedir.

### **3.5.2.6. Üniversitelerin ve Kurumların Etkisi**

Üniversitelerin ve kurumların etkisi aldıkları atıf sayıları neticesinde değerlendirilmektedir. Bu nedenle üniversite ve kurumların aldıkları atıf sayıları analiz edilmektedir. Scopus'tan alınan bilgiler VOSviewer programına aktarılarak citation ve organizations bölümleri seçilmiştir. Sonrasında edinilen atıf sayıları Microsoft Excel programına atılarak düzenlemeleri yapılmıştır ve tablo haline getirilmiştir.

### **3.5.2.7. Yayınların Dergilere göre Dağılımı**

Yayınlara dergilere göre dağılımı analizinde sayısal tasarım ile ilgili makale yayınlayan dergilerin belirlenmesi amaçlanmıştır. Scopus'tan alınan bilgilerin Microsoft Excel'e aktarılmasıyla tablo oluşturulmuştur.

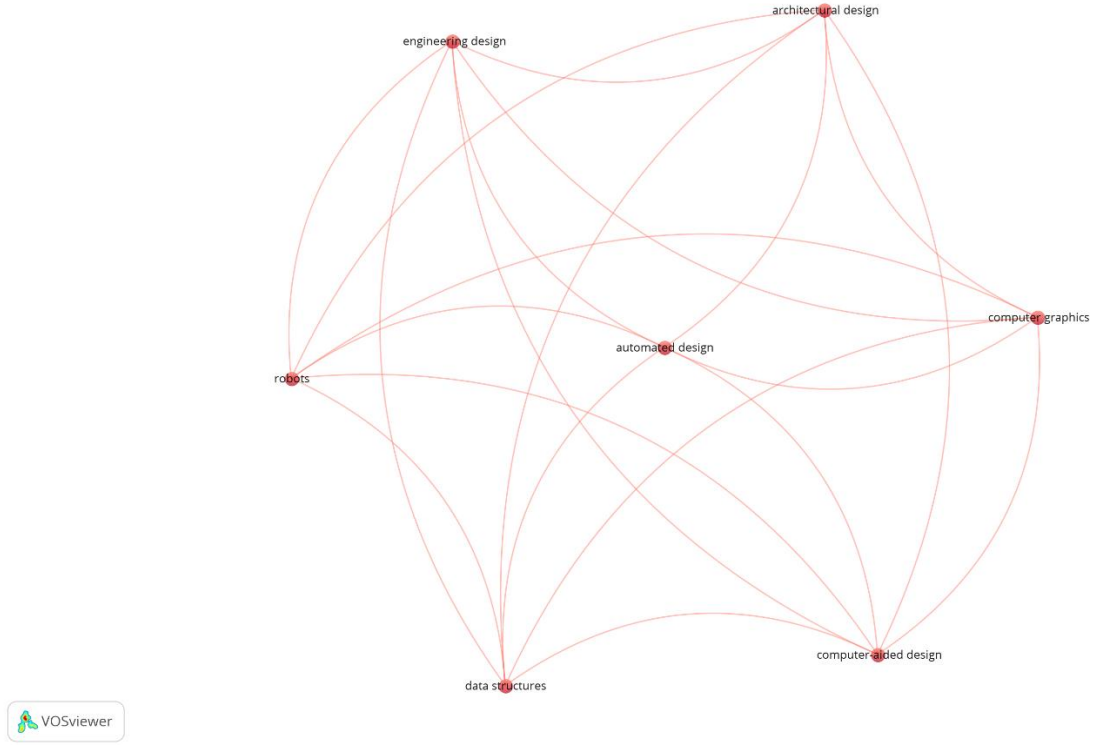


Şekil 3.4. İş akışı şeması

## 4. BULGULAR

### 4.1. Makalelerde Yer Alan Anahtar Sözcükler ve Bunların Arasındaki İlişkiler

Sayısal tasarım araştırmalarında 1969-1980 yılları arasında makalelerde yer alan tüm kavramlar Tablo 4.1’de gösterilmiştir. Anahtar kelimelerin ilgili literatürdeki önemini ve birbirleriyle ilişkilerini gösteren ağ diyagramı Şekil 4.1.de gösterilmektedir. Bulunan makaleler içindeki tüm anahtar kelimeler analize dâhil edilmiş ve en az bir kere makalelerde anahtar kelime olarak belirtilenler ağ diyagramında gösterilmiştir. Sonuçta elde edilen ağ diyagramı 7 anahtar kelime, 1 anahtar kelime grubu ve anahtar kelimeler arasında 21 bağlantı içermektedir. Anahtar kelimeler makalelerde geçme sıklığına ve aralarındaki ilişkiye göre haritalanıp görselleştirilmiştir.



Şekil 4.1. 1969-1980 yılları arasında bulunan makalelerde kullanılan anahtar kelimelerin eş-kelime çözümlmesi ile oluşturulan ağ diyagramı

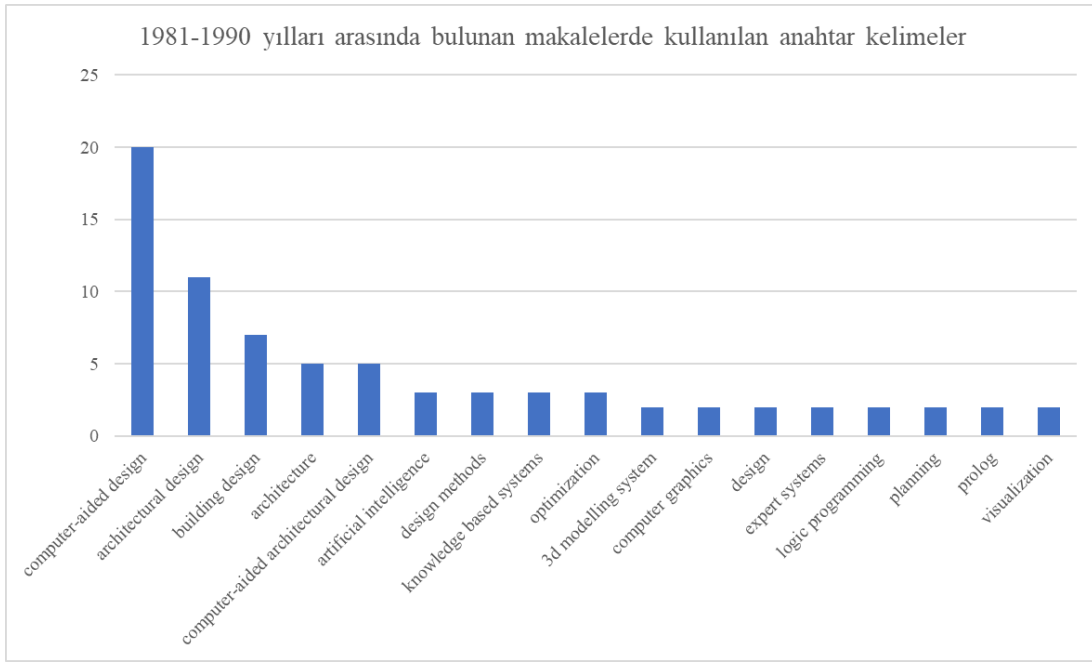
Tablo 4.1. 1969-1980 yılları arasında bulunan makalelerde kullanılan anahtar kelimelerin eş-kelime çözümlemesi ile oluşturulan sınıflandırılma tablosu

<b>KÜME 1</b>
Architectural design
Automated design
Computer graphics
Computer-aided design
Data structures
Engineering design
Robots

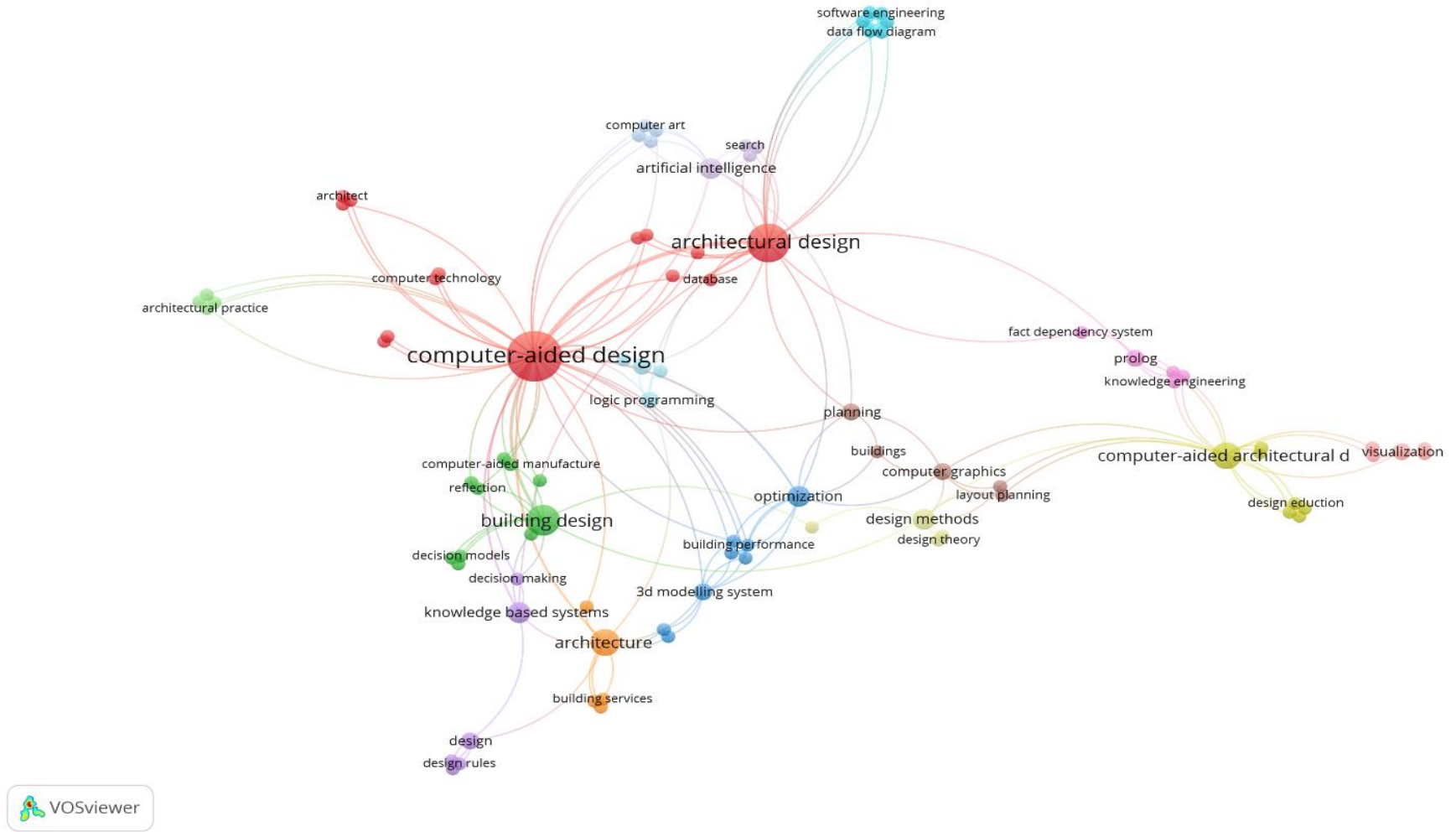
Sayısal tasarım araştırmalarında 1981-1990 yılları arasında makalelerde kullanılma sıklığı 1 ve üzeri olan kavramlar kullanılma sıklığına göre Şekil 4.2.'de gösterilmiştir. Bulunan makaleler içinde minimum 1 kez tekrarlayan anahtar kelimeler şekle dahil edilmiştir. Bu analiz yapılırken bazı anahtar kelimelerin çeşitli makalelerde farklı şekillerde ifade edildiğı belirlenmiş ve aynı anlama gelen anahtar kelimeler tek bir başlık altında toplanmıştır. Örneğin, “computer-aided design” ve “computer-aided architectural design” anahtar kelimeleri bazı makalelerde kısaltılmış halleri olan “CAD” ve “CAAD” olarak anahtar kelimeler arasında sıralanmış ve analizde uzun başlıkları altında birleştirilmiştir. Yapılan bir diğ er düzenleme ise yazım farklılıkları olan anahtar kelimelerin tek bir başlık altında toplanmasıdır. Örneğin, “artificial intelligence”, “artificial intelligence” olarak düzeltilmiş ve “knowledge-based system”, “knowledge-based systems” olarak tek bir başlıkta toplanmıştır.

Anahtar kelimelerin ilgili literatürdeki önemini ve birbirleriyle ilişkilerini gösteren ağ diyagramı Şekil 4.3.'te gösterilmektedir. Bulunan makaleler içindeki tüm anahtar kelimeler analize dâhil edilmiş ve en az bir kere makalelerde anahtar kelime olarak belirtilenler ağ diyagramında gösterilmiştir. Sonuçta elde edilen ağ diyagramı 91 anahtar kelime, 15 anahtar kelime grubu ve anahtar kelimeler arasında 223 bağlantı içermektedir. Anahtar kelimeler makalelerde geçme sıklığına ve aralarındaki ilişkiye göre haritalanıp görselleştirilmiştir. Aynı kümedeki anahtar kelimeler aynı renkte gösterilmiştir. Geçme sıklığı yüksek olan kavramların simgesi daha büyük olup aralarındaki toplam bağlantıların fazla olduğı kavramlar arasındaki çizgiler ise daha kalındır. Birbiriyle ilişkili olan anahtar kelimeler anahtar kelime gruplarına göre kümelendirilerek Tablo 4.2.'de gösterilmiştir. Anahtar kelimelerin kümeleneğinde VOSviewer programına özel geliştirilmiş olan VOS

(Visualization of Similarities) algoritması kullanılmıştır. Programda yer alan kümeleme alanından çözünürlük ve minimum küme boyutu gibi faktörler değiştirilerek en uygun ayrıntı düzeyini veren değer bulunabilir. Çözünürlük parametresinin değeri ne kadar yüksekse ayrıntı da bir o kadar artacağından küme sayısı artar. Minimum küme boyutu parametresi ise VOS kümeleme tekniği ile üretilmiştir. Bu parametre her bir kümede en az kaç tane anahtar kelime olacağını belirler. Minimum küme boyutu parametresi, küçük ve ilgi çekici olmayan kümelerden kurtularak VOS kümeleme tekniğinden elde edilen kümeleme sonuçlarını basitleştirmek ve anlamlı hale getirmek için kullanılmaktadır. 1981-1990 yılları arasında bulunan makalelerde kullanılan anahtar kelimelerin eş-kelime çözümlemesi ile oluşturulan sınıflandırılma tablosunda çözünürlük (resolution) 2, minimum küme boyutu (min. cluster size) 4 alınmıştır. Böylece 15 tane anlamlı küme elde edilmiştir. Buna göre 1981-1990 yılları arasında sayısal tasarım çalışmaları Tablo 4.3.'teki başlıklar altında toplanmıştır.



Şekil 4.2. 1981-1990 yılları arasında bulunan makalelerde kullanılan anahtar kelimeler



Şekil 4.3. 1981-1990 yılları arasında bulunan makalelerde kullanılan anahtar kelimelerin eş-kelime çözümlemesi ile oluşturulan ağ diyagramı



Tablo 4.2. 1981-1990 yılları arasında bulunan makalelerde kullanılan anahtar kelimelerin eş-kelime çözümlemesi ile oluşturulan sınıflandırılma tablosu

<b>KÜME 1</b>	<b>KÜME 2</b>
computer-aided design	building design
architectural design	computer-aided manufacture
architect	decision models
brushstrokes	decorative effects
bézier curves	integration
cognitive dissonance	reflection
computer modelling	shadowing
computer technology	simulation
database	standards
flats	thermal behaviour
graph theory	
landscape design	
layout graphs	
purchasing	
<b>KÜME 3</b>	<b>KÜME 4</b>
optimization	computer-aided architectural design
3d modelling system	design education
building performance	design procedures
colour schemes	design process models
computer-generated models	graphical thinking
interrogable building blocks	participatory planning
man-machine interaction	urbigraph
robotics	
<b>KÜME 5</b>	<b>KÜME 6</b>
knowledge based systems	data flow diagram
design	development methods
decision making	software engineering
design rules	structured analysis and design
learning	transactions
pareto optimization	user interface
<b>KÜME 7</b>	<b>KÜME 8</b>
architecture	computer graphics
building services	planning
energy	buildings
preliminary design	computer-aided drafting
user interaction	layout planning
<b>KÜME 9</b>	<b>KÜME 10</b>
prolog	visualization

Tablo 4.2. devam ediyor

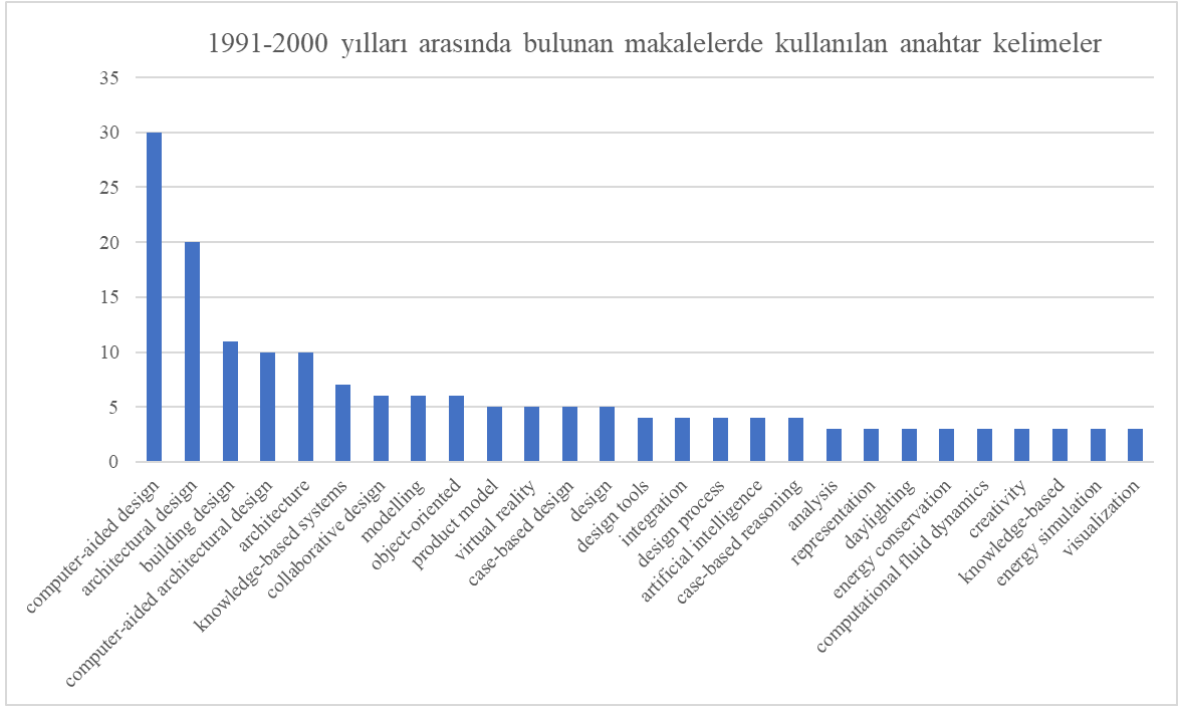
fact dependency system	appraisal and evaluation
knowledge engineering	computer-aided planning
reasoning systems	fifth generation
topology	landscape architecture
<b>KÜME 11</b>	<b>KÜME 12</b>
architectural practice	computer art
clients and users	fuzzy grammar
education and training	hierarchical geometry model
research and development	surface modelling
<b>KÜME 13</b>	<b>KÜME 14</b>
design methods	artificial intelligence
design theory	design assistant
games	search
participation	solution states
<b>KÜME 15</b>	
expert systems	
logic programming	
generative systems	
structural engineering	

Tablo 4.3. 1981-1990 yılları arasında bulunan makalelerde kullanılan anahtar kelimelerin kümelerle tanımlanan araştırma temalarının başlıkları

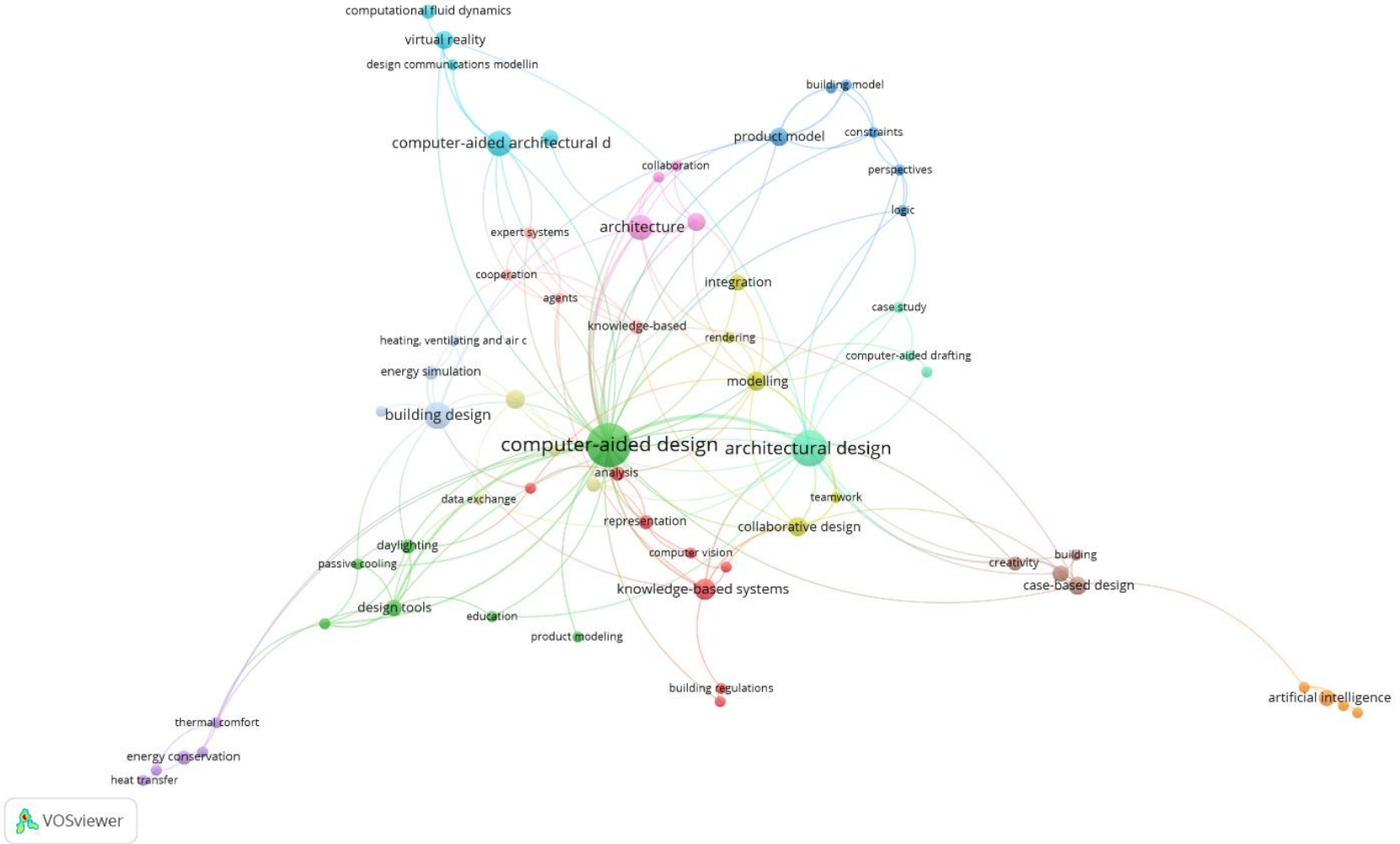
<b>KÜME 1</b>	Bilgisayar destekli tasarım	<b>KÜME 9</b>	Mantıksal düşünce sistemi
<b>KÜME 2</b>	Yapı tasarımı ve bilgisayar destekli üretim	<b>KÜME 10</b>	Görselleştirme ve bilgisayar destekli planlama
<b>KÜME 3</b>	Optimizasyon ve insan-makine etkileşimi	<b>KÜME 11</b>	Mimarlık deneyimi
<b>KÜME 4</b>	Bilgisayar destekli mimari tasarım ve tasarım süreci	<b>KÜME 12</b>	Bulanık gramer ve geometri
<b>KÜME 5</b>	Bilgi tabanlı sistem	<b>KÜME 13</b>	Tasarım yöntemi
<b>KÜME 6</b>	Yapısal çözümlenme ve tasarım	<b>KÜME 14</b>	Yapay zeka
<b>KÜME 7</b>	Mimarlık ve kullanıcı etkileşimi	<b>KÜME 15</b>	Uzman sistemler
<b>KÜME 8</b>	Bilgisayar destekli çizim		

Sayısal tasarım araştırmalarında 1991-2000 yılları arasında makalelerde kullanılma sıklığı 1'in üzeri olan kavramlar kullanılma sıklığına göre Şekil 4.4'de gösterilmiştir. Bulunan makaleler içinde minimum 2 kez tekrarlayan anahtar kelimeler şekle dahil edilmiştir. Bu analiz yapılırken bazı anahtar kelimelerin çeşitli makalelerde farklı şekillerde ifade edildiği belirlenmiş ve aynı anlama gelen anahtar kelimeler tek bir başlık altında toplanmıştır. Örneğin, “computer-aided design” ve “computer-aided architectural design” anahtar kelimeleri bazı makalelerde kısaltılmış halleri olan “CAD” ve “CAAD” olarak anahtar kelimeler arasında sıralanmış ve analizde uzun başlıkları altında birleştirilmiştir. Yapılan bir diğer düzenleme ise yazım farklılıkları olan anahtar kelimelerin tek bir başlık altında toplanmasıdır. Örneğin, “integration”, “integration”, “knowledge based systems”, “knowledge-based systems”, “design tool”, “design tools” olarak düzenlenmiş ve “object oriented”, “object-oriented” olarak tek bir başlıkta toplanmıştır. Bunların yanı sıra sadece kısaltmaları verilen anahtar kelimelerin açık halleri analizde uzun başlık altında toplanmıştır. Örneğin, “HVAC”, “heating, ventilating and air conditioning” olarak, “CFD”, “computational fluid dynamics” olarak düzenlenmiş ve “VRML”, “virtual reality modelling language” olarak uzun başlıklar altında birleştirilmiştir.

Anahtar kelimelerin ilgili literatürdeki önemini ve birbirleriyle ilişkilerini gösteren ağ diyagramı Şekil 4.5.'de gösterilmektedir. En az iki kere makalelerde anahtar kelime olarak belirtilenler ağ diyagramında gösterilmiştir. Sonuçta elde edilen ağ diyagramı 64 anahtar kelime, 10 anahtar kelime grubu ve anahtar kelimeler arasında 163 bağlantı içermektedir. Anahtar kelimeler makalelerde geçme sıklığına ve aralarındaki ilişkiye göre haritalanıp görselleştirilmiştir. Analizde 67 anahtar kelime çıkmasına rağmen 4 anahtar kelime diğer kelime gruplarıyla ilişkileneemediği için analize dahil edilmemiştir. Bu anahtar kelimeler şunlardır; “sketching”, “genetic algorithms”, “virtual reality modelling language” ve “product modeling”. Aynı kümedeki anahtar kelimeler aynı renkte gösterilmiştir. Geçme sıklığı yüksek olan kavramların simgesi daha büyük olup aralarındaki toplam bağlantıların fazla olduğu kavramlar arasındaki çizgiler ise daha kalındır. Birbiriyle ilişkili olan anahtar kelimeler anahtar kelime gruplarına göre kümelendirilerek Tablo 4.4'te gösterilmiştir. 1991-2000 yılları arasında bulunan makalelerde kullanılan anahtar kelimelerin eş-kelime çözümlemesi ile oluşturulan sınıflandırılma tablosunda çözünürlük (resolution) 4, minimum küme boyutu (min. cluster size) 4 alınmıştır. Böylece 13 tane anlamlı küme elde edilmiştir. Buna göre 1991-2000 yılları arasında sayısal tasarım çalışmaları Tablo 4.5.'teki başlıklar altında toplanmıştır.



Şekil 4.4. 1991-2000 yılları arasında bulunan makalelerde kullanılan anahtar kelimeler



Şekil 4.5. 1991-2000 yılları arasında bulunan makalelerde kullanılan anahtar kelimelerin eş-kelime çözümlemesi ile oluşturulan ağ diyagramı

Tablo 4.4. 1991-2000 yılları arasında bulunan makalelerde kullanılan anahtar kelimelerin eş-kelime çözümlemesi ile oluşturulan sınıflandırılma tablosu

<b>KÜME 1</b>	<b>KÜME 2</b>
analysis	computer-aided design
building regulations	daylighting
computer vision	design tools
computer-aided design and drafting	education
evaluation	passive cooling
knowledge-based systems	product modeling
representation	solar and low energy architecture
thermal simulation	
<b>KÜME 3</b>	<b>KÜME 4</b>
building model	collaborative design
constraints	integration
data model	modelling
logic	rendering
perspectives	teamwork
product model	
<b>KÜME 5</b>	<b>KÜME 6</b>
energy conservation	computational fluid dynamics
heat transfer	computer-aided architectural design
optimization	design communications modelling
residential buildings	design process
thermal comfort	virtual reality
<b>KÜME 7</b>	<b>KÜME 8</b>
artificial intelligence	building
communication	case-based design
design cognition	case-based reasoning
design theory	creativity
<b>KÜME 9</b>	<b>KÜME 10</b>
architecture	agents
collaboration	cooperation
database	expert systems
design	knowledge-based
<b>KÜME 11</b>	<b>KÜME 12</b>
architectural design	building design
case study	energy simulation
computer-aided drafting	floorplanning
working drawings	heating, ventilating and air conditioning
<b>KÜME 13</b>	
data exchange	

Tablo 4.4. devam ediyor

knowledge representation	
object-oriented	
visualization	

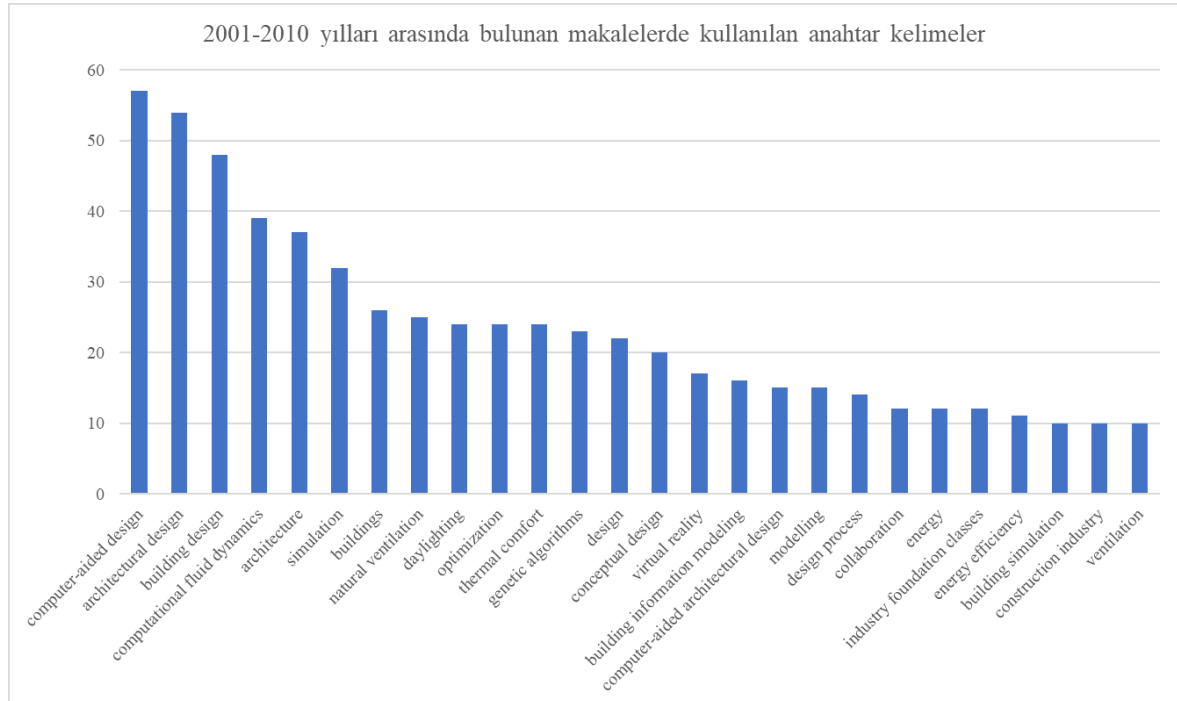
Tablo 4.5. 1991-2000 yılları arasında bulunan makalelerde kullanılan anahtar kelimelerin kümelerle tanımlanan araştırma temalarının başlıkları

<b>KÜME 1</b>	Bilgi tabanlı sistem	<b>KÜME 8</b>	Mantıksal düşünce tabanlı tasarım
<b>KÜME 2</b>	Bilgisayar destekli tasarım	<b>KÜME 9</b>	Mimarlık
<b>KÜME 3</b>	Yapı modeli	<b>KÜME 10</b>	Uzman sistemler
<b>KÜME 4</b>	İşbirlikçi tasarım	<b>KÜME 11</b>	Mimari tasarım
<b>KÜME 5</b>	Enerji tasarrufu ve termal konfor	<b>KÜME 12</b>	Yapı tasarımı ve enerji simülasyonu
<b>KÜME 6</b>	Bilgisayar destekli mimari tasarım ve sanal gerçeklik	<b>KÜME 13</b>	Nesneye dayalı tasarım
<b>KÜME 7</b>	Yapay zeka		

Sayısal tasarım araştırmalarında 2001-2010 yılları arasında makalelerde kullanılma sıklığı 3'ün üzeri olan kavramlar kullanılma sıklığına göre Şekil 4.6.'da gösterilmiştir. Bulunan makaleler içinde minimum 4 kez tekrarlayan anahtar kelimeler şekle dahil edilmiştir. Bu analiz yapılırken bazı anahtar kelimelerin çeşitli makalelerde farklı şekillerde ifade edildiği belirlenmiş ve aynı anlama gelen anahtar kelimeler tek bir başlık altında toplanmıştır. Örneğin, “computer-aided design” ve “computer-aided architectural design” anahtar kelimeleri bazı makalelerde kısaltılmış halleri olan “CAD” ve “CAAD” olarak anahtar kelimeler arasında sıralanmış ve analizde uzun başlıkları altında birleştirilmiştir. Yapılan bir diğer düzenleme ise yazım farklılıkları olan anahtar kelimelerin tek bir başlık altında toplanmasıdır. Örneğin, “integration”, “integrations”, “genetic algorithm”, “genetic algorithms”, “building”, “buildings”, “interoperability”, “interoperabilities”, “modelling”, “modeling”, “information systems”, “information systems”, “innovation”, “innovations”, “information management”, “information managements” olarak düzenlenmiş ve “illuminance”, “illuminescence” olarak tek bir başlıkta toplanmıştır. Bunların yanı sıra sadece kısaltmaları verilen anahtar kelimelerin açık halleri analizde uzun başlık altında toplanmıştır. Örneğin, “CFD”, “computational fluid dynamics”, “CSCW”, “computer-supported cooperative work”, “GIS”, “geographical information systems”, “IFC”, “industry foundation

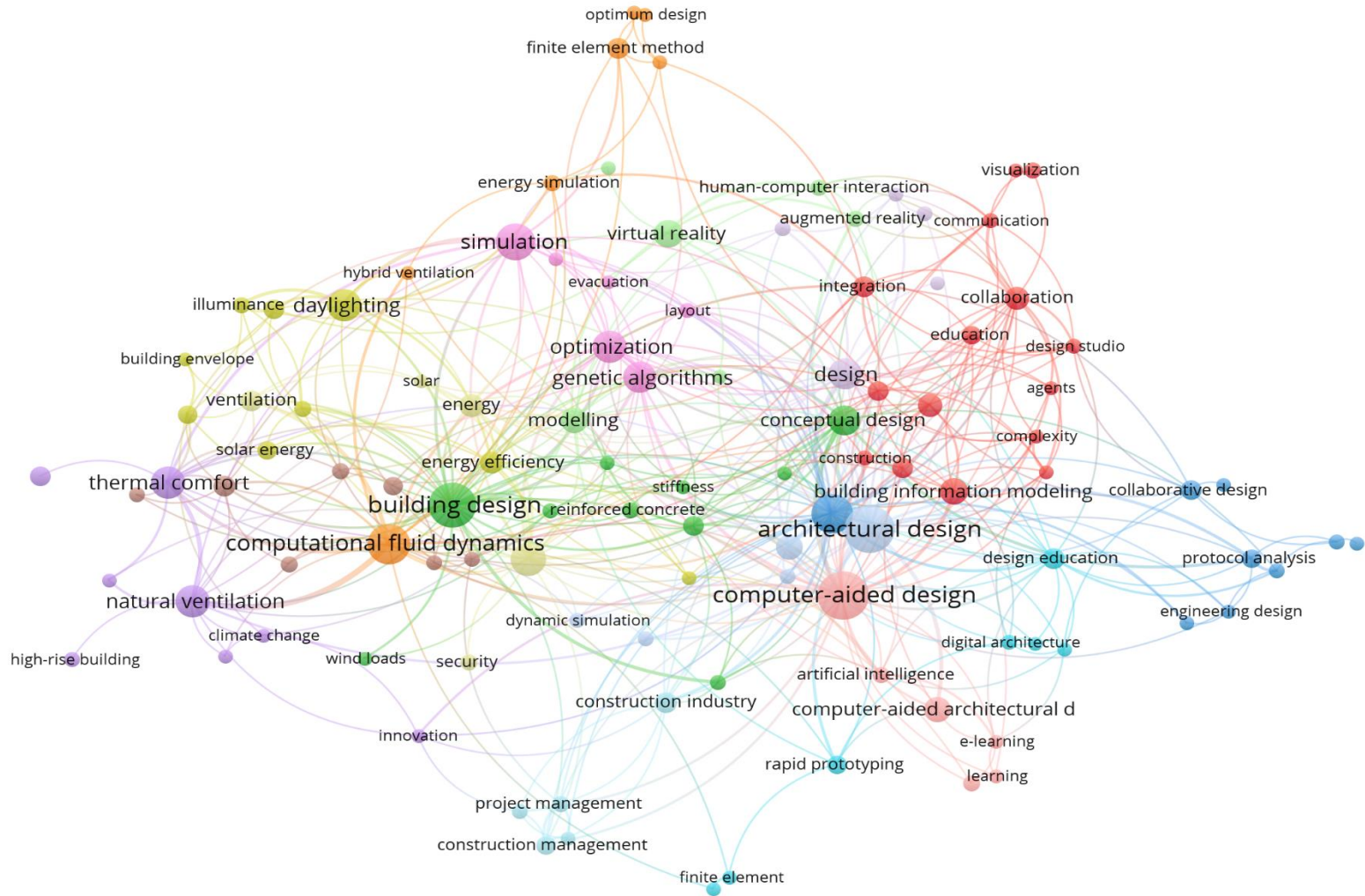
classes” olarak düzenlenmiş ve “BIM”, “building information modeling” olarak uzun başlıklar altında birleştirilmiştir.

Anahtar kelimelerin ilgili literatürdeki önemini ve birbirleriyle ilişkilerini gösteren ağ diyagramı Şekil 4.7.’de gösterilmektedir. En az dört kere makalelerde anahtar kelime olarak belirtilenler ağ diyagramında gösterilmiştir. Sonuçta elde edilen ağ diyagramı 111 anahtar kelime, 11 anahtar kelime grubu ve anahtar kelimeler arasında 480 bağlantı içermektedir. Anahtar kelimeler makalelerde geçme sıklığına ve aralarındaki ilişkiye göre haritalanıp görselleştirilmiştir. Analizde 111 anahtar kelime çıkmasına rağmen 1 anahtar kelime diğer kelime gruplarıyla ilişkileneemediği için analize dahil edilmemiştir. Bu anahtar kelime, “finite element analysis”dir. Aynı kümedeki anahtar kelimeler aynı renkte gösterilmiştir. Geçme sıklığı yüksek olan kavramların simgesi daha büyük olup aralarındaki toplam bağlantıların fazla olduğu kavramlar arasındaki çizgiler ise daha kalındır. Birbiriyle ilişkili olan anahtar kelimeler anahtar kelime gruplarına göre kümelendirilerek Tablo 4.6.’da gösterilmiştir. 2001-2010 yılları arasında bulunan makalelerde kullanılan anahtar kelimelerin eş-kelime çözümlemesi ile oluşturulan sınıflandırılma tablosunda çözünürlük (resolution) 5, minimum küme boyutu (min. cluster size) 5 alınmıştır. Böylece 15 tane anlamlı küme elde edilmiştir. Buna göre 2001-2010 yılları arasında sayısal tasarım çalışmaları Tablo 4.7.’deki başlıklar altında toplanmıştır.



Şekil 4.6. 2001-2010 yılları arasında bulunan makalelerde kullanılan anahtar kelimeler





Şekil 4.7. 2001-2010 yılları arasında bulunan makalelerde kullanılan anahtar kelimelerin eş kelime çözümlemesi ile oluşturulan ağ diyagramı

Tablo 4.6. 2001-2010 yılları arasında bulunan makalelerde kullanılan anahtar kelimelerin eş-kelime çözümlemesi ile oluşturulan sınıflandırılma tablosu

<b>KÜME 1</b>	<b>KÜME 2</b>
3d reconstruction	architectural design process
agents	artificial neural networks
building information modeling	building design
collaboration	computation
communication	conceptual design
complexity	information management
construction	reinforced concrete
design studio	stiffness
education	structural design
industry foundation classes	wind loads
integration	
interoperability	
representation	
sustainability	
visualization	
<b>KÜME 3</b>	<b>KÜME 4</b>
architecture	building envelope
case-based reasoning	computer simulation
collaborative design	daylighting
computer-supported cooperative work	energy consumption
design cognition	energy efficiency
engineering design	environmental design
ethics	illuminance
neural networks	solar energy
protocol analysis	solar radiation
<b>KÜME 5</b>	<b>KÜME 6</b>
climate change	design education
high-rise building	digital architecture
innovation	digital design
natural ventilation	finite element
numerical simulation	numerical modelling
passive cooling	performance-based design
thermal comfort	rapid prototyping
wind speed	
<b>KÜME 7</b>	<b>KÜME 8</b>
computational fluid dynamics	building simulation
energy simulation	design tools
finite element method	energy performance

Tablo 4.6. devam ediyor

hybrid ventilation	geographical information systems
optimum design	shading
sensitivity analysis	thermal simulation
structural analysis	uncertainty
<b>KÜME 9</b>	<b>KÜME 10</b>
evacuation	architectural education
genetic algorithms	artificial intelligence
green building	computer-aided architectural design
layout	computer-aided design
optimization	e-learning
simulation	learning
<b>KÜME 11</b>	<b>KÜME 12</b>
augmented reality	architectural design
human-computer interaction	design process
modelling	dynamic simulation
system design	expert systems
virtual prototyping	virtual environments
virtual reality	
<b>KÜME 13</b>	<b>KÜME 14</b>
buildings	design
energy	genetic programming
security	information retrieval
solar	planning
ventilation	robotics
<b>KÜME 15</b>	
construction industry	
construction management	
information systems	
information technology	
project management	

Tablo 4.7. 2001-2010 yılları arasında bulunan makalelerde kullanılan anahtar kelimelerin kümelerle tanımlanan araştırma temalarının başlıkları

<b>KÜME 1</b>	Yapı bilgi modelleme	<b>KÜME 9</b>	Genetik algoritma ve optimizasyon
<b>KÜME 2</b>	Hesaplama, kavramsal tasarım ve strüktürel tasarım	<b>KÜME 10</b>	Bilgisayar destekli tasarım ve eğitim
<b>KÜME 3</b>	Tasarımda bilişsellik ve işbirlikçi tasarım	<b>KÜME 11</b>	İnsan-bilgisayar etkileşimi ve sanal gerçeklik

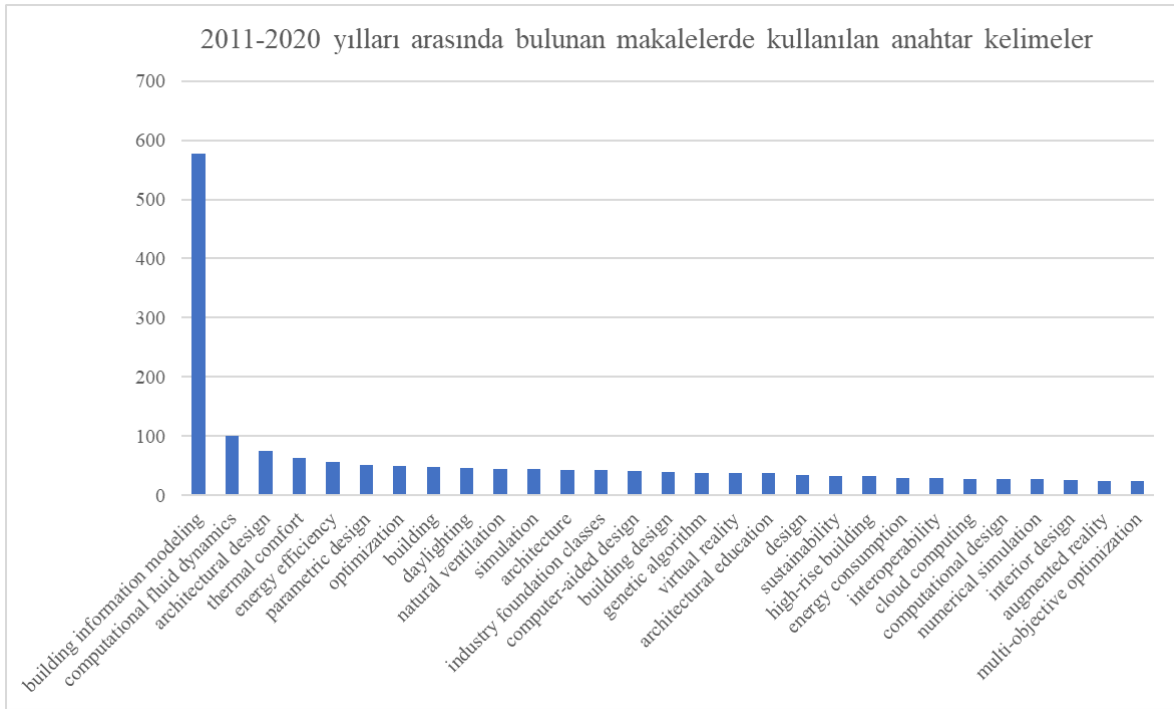
Tablo 4.7. devam ediyor

<b>KÜME 4</b>	Yapıda enerji	<b>KÜME 12</b>	Mimari tasarım ve uzman sistemler
<b>KÜME 5</b>	Havalandırma ve termal konfor	<b>KÜME 13</b>	Gün ışığı ve havalandırma
<b>KÜME 6</b>	Performansa dayalı sayısal tasarım	<b>KÜME 14</b>	Genetik programlama ve yapay zeka
<b>KÜME 7</b>	Hesaplamalı akışkanlar dinamiği	<b>KÜME 15</b>	Tasarım yöntemi ve bilgi sistemleri
<b>KÜME 8</b>	Yapıda enerji performansı ve simülasyonları		

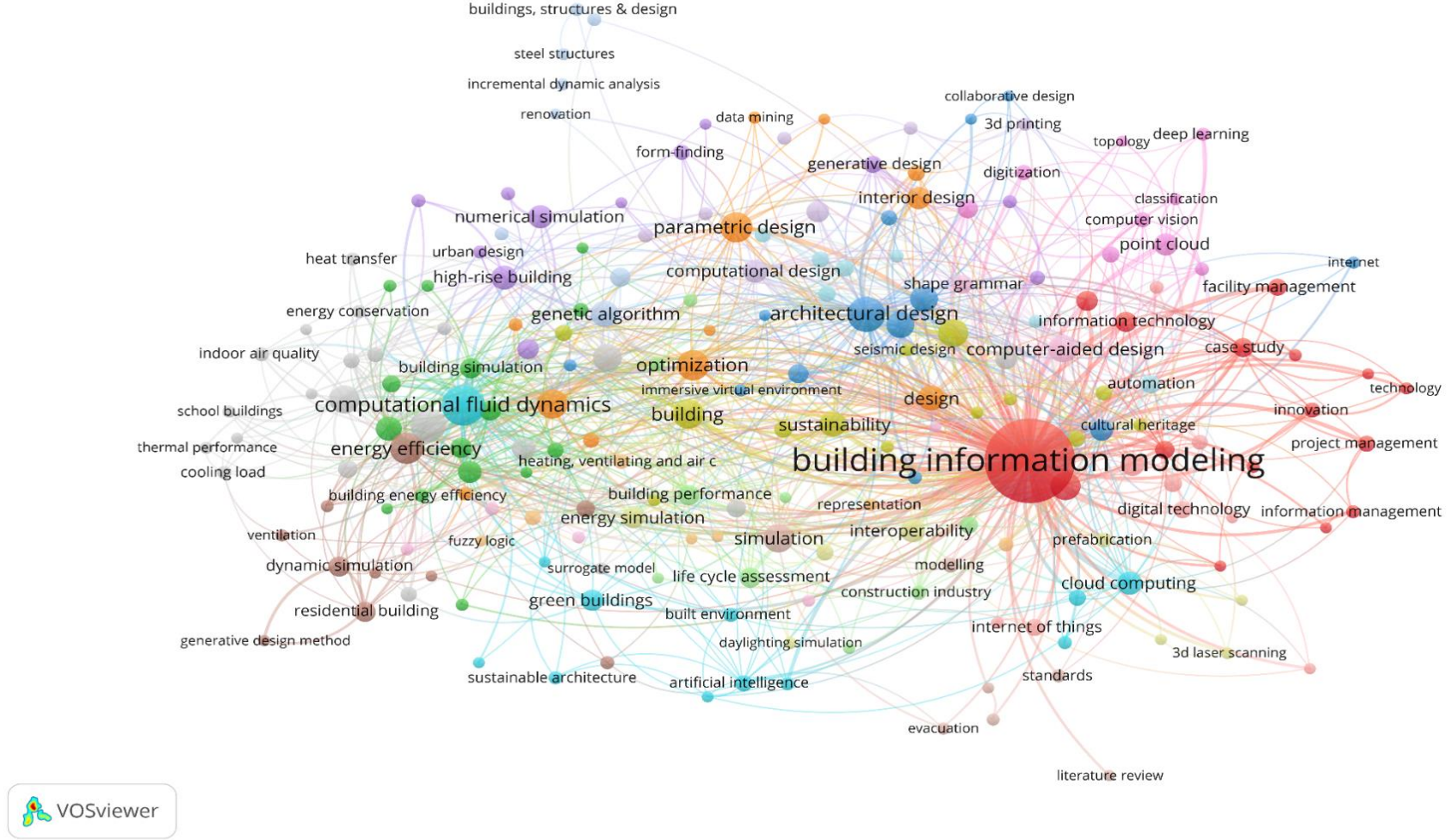
Sayısal tasarım araştırmalarında 2011-2020 yılları arasında makalelerde kullanılma sıklığı 4’ün üzeri olan kavramlar kullanılma sıklığına göre Şekil 4.8.’de gösterilmiştir. Bulunan makaleler içinde minimum 5 kez tekrarlayan anahtar kelimeler şekle dahil edilmiştir. Bu analiz yapılırken bazı anahtar kelimelerin çeşitli makalelerde farklı şekillerde ifade edildiği belirlenmiş ve aynı anlama gelen anahtar kelimeler tek bir başlık altında toplanmıştır. Örneğin, “computer-aided design” ve “computer-aided architectural design” anahtar kelimeleri bazı makalelerde kısaltılmış halleri olan “CAD” ve “CAAD” olarak anahtar kelimeler arasında sıralanmış ve analizde uzun başlıkları altında birleştirilmiştir. Yapılan bir diğer düzenleme ise yazım farklılıkları olan anahtar kelimelerin tek bir başlık altında toplanmasıdır. Örneğin, “immersive virtual environment”, “immersive virtual environment”, “indoor environment”, “indoor environment”, “building”, “buildings”, “interoperability”, “interoperability”, “modelling”, “modeling”, “genetic algorithms”, “genetic algorithm”, “information technology”, “information technology”, “innovation”, “innovation”, “integrated design”, “integrated design” olarak düzenlenmiş ve “interior design”, “interior design” olarak tek bir başlıkta toplanmıştır. Bunların yanı sıra sadece kısaltmaları verilen anahtar kelimelerin açık halleri analizde uzun başlık altında toplanmıştır. Örneğin, “CFD”, “computational fluid dynamics”, “HVAC”, “heating, ventilating and air conditioning”, “GIS”, “geographical information systems”, “IFC”, “industry foundation classes” olarak düzenlenmiş ve “BIM”, “building information modeling” olarak uzun başlıklar altında birleştirilmiştir.

Anahtar kelimelerin ilgili literatürdeki önemini ve birbirleriyle ilişkilerini gösteren ağ diyagramı Şekil 4.9.’da gösterilmektedir. En az beş kere makalelerde anahtar kelime olarak belirtilenler ağ diyagramında gösterilmiştir. Sonuçta elde edilen ağ diyagramı 202 anahtar kelime, 11 anahtar kelime grubu ve anahtar kelimeler arasında 1544 bağlantı içermektedir.

Anahtar kelimeler makalelerde geçme sıklığına ve aralarındaki ilişkiye göre haritalanıp görselleştirilmiştir. Aynı kümedeki anahtar kelimeler aynı renkte gösterilmiştir. Geçme sıklığı yüksek olan kavramların simgesi daha büyük olup aralarındaki toplam bağlantıların fazla olduğu kavramlar arasındaki çizgiler ise daha kalındır. Birbiriyle ilişkili olan anahtar kelimeler anahtar kelime gruplarına göre kümelendirilerek Tablo 4.8.'de gösterilmiştir. 2011-2020 yılları arasında bulunan makalelerde kullanılan anahtar kelimelerin eş-kelime çözümlemesi ile oluşturulan sınıflandırılma tablosunda çözünürlük (resolution) 4, minimum küme boyutu (min. cluster size) 7 alınmıştır. Böylece 21 tane anlamlı küme elde edilmiştir. Buna göre 2011-2020 yılları arasında sayısal tasarım çalışmaları Tablo 4.9.'teki başlıklar altında toplanmıştır.



Şekil 4.8. 2011-2020 yılları arasında bulunan makalelerde kullanılan anahtar kelimeler



Şekil 4.9. 2011-2020 yılları arasında bulunan makalelerde kullanılan anahtar kelimelerin eş-kelime çözümlemesi ile oluşturulan ağ diyagramı

Tablo 4.8. 2011-2020 yılları arasında bulunan makalelerde kullanılan anahtar kelimelerin eş-kelime çözümlemesi ile oluşturulan sınıflandırılma tablosu

<b>KÜME 1</b>	<b>KÜME 2</b>
bim adoption	building energy efficiency
building information modeling	building energy simulation
case study	building performance simulation
construction management	building simulation
design management	design optimization
facility management	design parameters
industry foundation classes	energy consumption
information and communication technology (ict) applications	energy modeling
information management	energyplus
information technology	occupant behavior
innovation	office building
knowledge management	optimization algorithm
project management	passive cooling
scheduling	sensitivity analysis
technology	uncertainty analysis
visualization	
<b>KÜME 3</b>	<b>KÜME 4</b>
architectural design	architecture
architectural education	building
building energy	computational geometry
collaboration	computer graphics
collaborative design	cultural heritage
design cognition	education
design process	energy
design studio	life cycle cost
digital design	mass customization
immersive virtual environment	parametric modeling
internet	seismic design
parametric	software
virtual reality	sustainability
<b>KÜME 5</b>	<b>KÜME 6</b>
digital tools	artificial intelligence
energy saving	big data
form-finding	built environment
generative design	cloud computing
high-rise building	comfort
multi-agent systems	computational fluid dynamics

Tablo 4.8. devam ediyor

numerical simulation	general
space syntax	geographical information systems
spatial analysis	green buildings
urban design	indoor environment
wind environment	revit
wind tunnel test	sustainable architecture
<b>KÜME 7</b>	<b>KÜME 8</b>
architectural design process	atrium
data mining	computer simulation
daylighting	dynamic simulation
design	energy efficiency
design education	generative design method
human-computer interaction	renewable energy
integrated design	residential building
interior design	solar energy
optimization	sustainable design
parametric design	ventilation
solar radiation	
visual comfort	
<b>KÜME 9</b>	<b>KÜME 10</b>
3d modeling	augmented reality
3d reconstruction	bim technology
classification	computer-aided architectural design
computer vision	data management
deep learning	digital technology
digitization	engineering education
laser scanning	internet of things
point cloud	lean construction
topology	smart building
<b>KÜME 11</b>	<b>KÜME 12</b>
building performance	buildings, structures & design
construction industry	design methods & aids
embodied energy	energy performance
environmental design	genetic algorithm
integration	incremental dynamic analysis
life cycle assessment	performance-based design
microclimate	renovation
performance assessment	steel structures
urban planning	
<b>KÜME 13</b>	<b>KÜME 14</b>



Tablo 4.8. devam ediyor

3d laser scanning	3d printing
construction projects	additive manufacturing
daylighting simulation	computational design
design automation	digital fabrication
energy simulation	early design stage
framework	performance
interoperability	robotic fabrication
prefabrication	
<b>KÜME 15</b>	<b>KÜME 16</b>
automation	artificial neural network
conceptual design	fuzzy logic
existing buildings	heating, ventilating and air conditioning
reinforced concrete	historic building
structural design	monitoring
structural optimization	ontology
topology optimization	representation
<b>KÜME 17</b>	<b>KÜME 18</b>
evacuation	building energy performance
literature review	computer-aided design
modelling	decision making
safety	energy optimization
scaffolding	review
simulation	shape grammar
standards	simulation-based optimization
<b>KÜME 19</b>	<b>KÜME 20</b>
computational fluid dynamics simulation	building design
cooling load	climate change
indoor air quality	construction
natural ventilation	energy conservation
overheating	heat transfer
school buildings	robust design
thermal performance	thermal simulation
<b>KÜME 21</b>	
building envelope	
machine learning	
multi-objective optimization	
passive design	
surrogate model	
thermal comfort	
tropical climate	

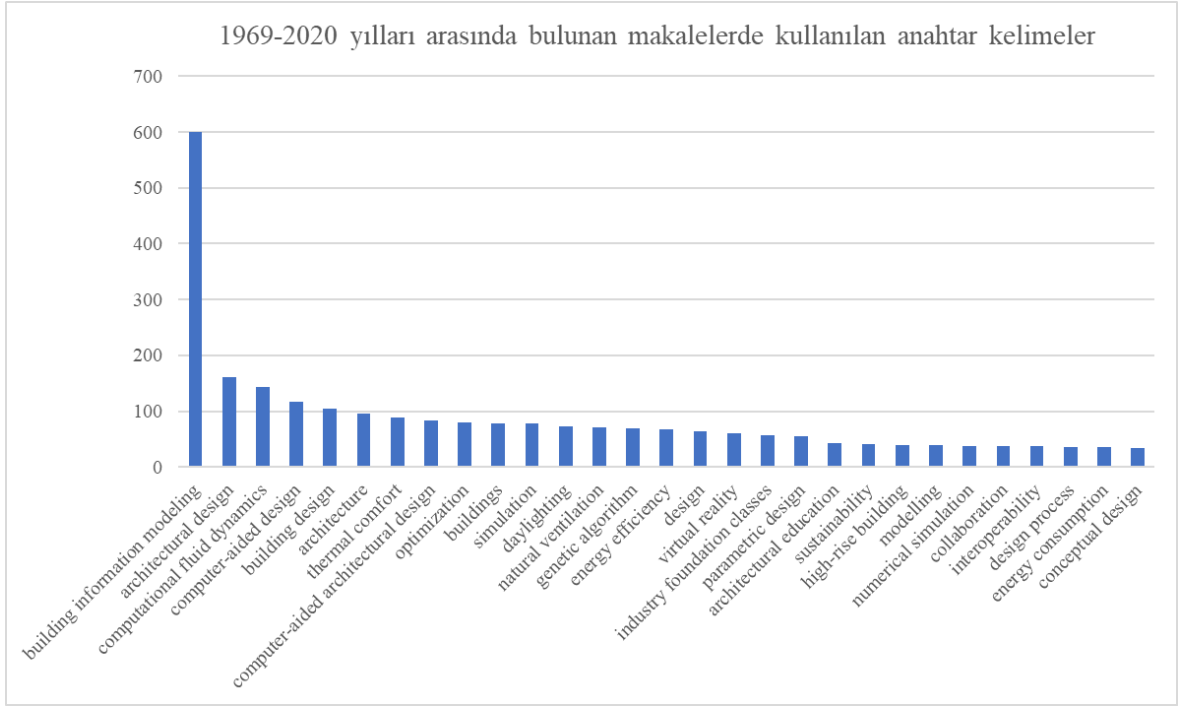
Tablo 4.9. 2011-2020 yılları arasında bulunan makalelerde kullanılan anahtar kelimelerin kümelerle tanımlanan araştırma temalarının başlıkları

<b>KÜME 1</b>	Yapı bilgi modelleme	<b>KÜME 12</b>	Performansa dayalı tasarım ve genetik algoritma
<b>KÜME 2</b>	Yapıda enerji ve verimlilik	<b>KÜME 13</b>	Yapı projeleri ve simülasyonlar
<b>KÜME 3</b>	Mimari tasarım eğitimi ve işbirlikçi tasarım	<b>KÜME 14</b>	Hesaplamalı tasarım ve sayısal imalat
<b>KÜME 4</b>	Hesaplamalı geometri	<b>KÜME 15</b>	Strüktür analizi
<b>KÜME 5</b>	Form bulma ve üretken sistemler	<b>KÜME 16</b>	Bilgi temsili ve bulanık mantık
<b>KÜME 6</b>	Hesaplamalı akışkanlar dinamiği	<b>KÜME 17</b>	Modelleme ve simülasyon
<b>KÜME 7</b>	İnsan-bilgisayar etkileşimi ve mimari tasarım süreci	<b>KÜME 18</b>	Bilgisayar destekli tasarım
<b>KÜME 8</b>	Sürdürülebilirlik ve enerji kullanımı	<b>KÜME 19</b>	Doğal havalandırma ve termal performans
<b>KÜME 9</b>	3 boyutlu tarama ve görselleştirme	<b>KÜME 20</b>	Yapı tasarımı ve çevresel faktörler
<b>KÜME 10</b>	Bilgisayar destekli mimari tasarım	<b>KÜME 21</b>	Çok amaçlı optimizasyon ve makine öğrenimi
<b>KÜME 11</b>	Yapı performansı		

1969-2020 yılları arasında onar yıllık periyotlar için yapılan analizler tamamlandıktan sonra büyük resmi görebilmek için bu 50 yıllık dönemdeki tüm veriler bir kere de toplu olarak incelenmiştir. Bu analize göre, sayısal tasarım araştırmalarında 1969-2020 yılları arasında makalelerde kullanılma sıklığı 4'ün üzeri olan kavramlar kullanılma sıklığına göre Şekil 4.10.'da gösterilmiştir. Bulunan makaleler içinde minimum 5 kez tekrarlayan anahtar kelimeler şekle dahil edilmiştir. Bu analiz yapılırken bazı anahtar kelimelerin çeşitli makalelerde farklı şekillerde ifade edildiği belirlenmiş ve aynı anlama gelen anahtar kelimeler tek bir başlık altında toplanmıştır. Örneğin, “computer-aided design” ve “computer-aided architectural design” anahtar kelimeleri bazı makalelerde kısaltılmış halleri olan “CAD” ve “CAAD” olarak anahtar kelimeler arasında sıralanmış ve analizde uzun başlıkları altında birleştirilmiştir. Yapılan bir diğer düzenleme ise yazım farklılıkları olan anahtar kelimelerin tek bir başlık altında toplanmasıdır. Örneğin, “immersive virtual environment”, “immersive virtual environment”, “indoor environment”, “indoor environment”, “building”, “buildings”, “illuminance”, “illuminance”, “modelling”, “modeling”, “genetic algorithms”, “genetic algorithm”, “information technology”, “information technology”, “innovation”, “innovation”, “integrated design”, “integrated

design” olarak düzenlenmiş ve “interior design”, “interior design” olarak tek bir başlıkta toplanmıştır. Bunların yanı sıra sadece kısaltmaları verilen anahtar kelimelerin açık halleri analizde uzun başlık altında toplanmıştır. Örneğin, “CFD”, “computational fluid dynamics”, “HVAC”, “heating, ventilating and air conditioning”, “GIS”, “geographical information systems”, “IFC”, “industry foundation classes” olarak düzenlenmiş ve “BIM”, “building information modeling” olarak uzun başlıklar altında birleştirilmiştir. Bu analizde çok sayıda anahtar kelime olduğu için anahtar kelimeleri düzenlemek için 100 tane kod yazılmıştır. Yapılan bu düzenlemelerle ilk başta 414 tane anahtar kelime varken bu sayı damıtma işleminin sonunda 345’e düşmüştür.

Anahtar kelimelerin ilgili literatürdeki önemini ve birbirleriyle ilişkilerini gösteren ağ diyagramı Şekil 4.11.’de gösterilmektedir. En az beş kere makalelerde anahtar kelime olarak belirtilenler ağ diyagramında gösterilmiştir. Sonuçta elde edilen ağ diyagramı 345 anahtar kelime, 35 anahtar kelime grubu ve anahtar kelimeler arasında 3157 bağlantı içermektedir. Anahtar kelimeler makalelerde geçme sıklığına ve aralarındaki ilişkiye göre haritalanıp görselleştirilmiştir. Aynı kümedeki anahtar kelimeler aynı renkte gösterilmiştir. Geçme sıklığı yüksek olan kavramların simgesi daha büyük olup aralarındaki toplam bağlantıların fazla olduğu kavramlar arasındaki çizgiler ise daha kalındır. Birbiriyle ilişkili olan anahtar kelimeler anahtar kelime gruplarına göre kümelendirilerek Tablo 4.10.’da gösterilmiştir. 1969-2020 yılları arasında bulunan makalelerde kullanılan anahtar kelimelerin eş-kelime çözümlemesi ile oluşturulan sınıflandırılma tablosunda çözünürlük (resolution) 4, minimum küme boyutu (min. cluster size) 6 alınmıştır. Böylece 35 tane anlamlı küme elde edilmiştir. Buna göre 1969-2020 yılları arasında sayısal tasarım çalışmaları Tablo 4.11.’deki gibi gruplanmıştır.



Şekil 4.10. 1969-2020 yılları arasında bulunan makalelerde kullanılan anahtar kelimeler



Tablo 4.10. 1969-2020 yılları arasında bulunan makalelerde kullanılan anahtar kelimelerin eş-kelime çözümlemesi ile oluşturulan sınıflandırılma tablosu

<b>KÜME 1</b>	<b>KÜME 2</b>
3d modeling	case study
3d reconstruction	data integration
building information modeling	data management
classification	digital tools
computer vision	Ethics
construction projects	information and communication technology (ict) applications
deep learning	İnnovation
digitization	intelligent agents
feature extraction	intelligent buildings
internet of things	Microclimate
laser scanning	Security
object recognition	Technology
photogrammetry	urban heat island
point cloud	urban planning
prefabrication	virtual worlds
smart building	
<b>KÜME 3</b>	<b>KÜME 4</b>
architectural design	artificial intelligence
case-based design	conceptual building design
case-based reasoning	daylighting simulation
collaborative design	design automation
computational models	design methods & aids
creativity	energy simulation
design cognition	finite element method
design education	genetic algorithm
design process	incremental dynamic analysis
engineering education	multidisciplinary design optimization
human–computer interaction	neural network
internet	optimum design
protocol analysis	steel structures
virtual environments	structural analysis
virtual reality	
<b>KÜME 5</b>	<b>KÜME 6</b>
application	building energy simulation
big data	building performance simulation
built environment	design optimization
cultural heritage	design parameters

Tablo 4.10. devam ediyör

digital design	energy consumption
energy use	Energyplus
environment	hybrid ventilation
leed	machine learning
optimal design	multi-objective optimization
parametric	optimization algorithm
revit	sensitivity analysis
sustainable architecture	surrogate model
vernacular architecture	uncertainty analysis
<b>KÜME 7</b>	<b>KÜME 8</b>
aesthetics	Benchmarking
architectural design process	cloud computing
architecture	decision support
artificial neural network	Digital
ductility	Evaluation
early design stage	Feedback
parametric design	General
perception	geographic information systems
reinforced concrete	immersive virtual environment
seismic design	risk management
stiffness	Safety
structural design	Scaffolding
ubiquitous computing	
<b>KÜME 9</b>	<b>KÜME 10</b>
analysis	Anfis
building energy	Atrium
climate change	Buildings
computer-aided architectural design	computer applications
dynamic	Energy
energy performance	fuzzy logic
modelling	green building
product model	Solar
risk	solar energy
system design	Ventilation
thermal simulation	wind energy
urban design	wind speed
<b>KÜME 11</b>	<b>KÜME 12</b>
algorithm	3d laser scanning
civil engineering	Conservation
computer technology	digital construction

Tablo 4.10. devam ediyor

data mining	Framework
design theory	heating, ventilating and air conditioning
form-finding	historic building
interior design	literature review
measurement	model checking
multi-agent systems	Renovation
prediction	Standards
robotics	sustainable development
<b>KÜME 13</b>	<b>KÜME 14</b>
building construction	automated design
building design	conceptual design
building performance	design space exploration
construction industry	environmental design
embodied energy	evolutionary design
life cycle assessment	genetic programming
life cycle cost	room acoustics
mass customization	shape optimization
parametric modeling	structural optimization
performance assessment	sustainable design
renewable energy	topology optimization
<b>KÜME 15</b>	<b>KÜME 16</b>
data exchange	Concrete
energy efficiency	daylight factor
energy modeling	existing buildings
industry foundation classes	expert systems
information exchange	Glazing
interoperability	Maintenance
object model	Monitoring
occupant behavior	numerical modelling
office building	Shading
scheduling	Temperature
<b>KÜME 17</b>	<b>KÜME 18</b>
bridge design	3d printing
cellular automata	additive manufacturing
dynamic analysis	Biomimetics
fire	Computation
heat transfer	computational design
knowledge-based system	digital fabrication
performance-based design	Performance
preliminary design	Prototypes



Tablo 4.10. devam ediyor

software	rapid prototyping
uncertainty	robotic fabrication
<b>KÜME 19</b>	<b>KÜME 20</b>
agents	Automation
cad/cam	construction management
collaboration	design management
complexity	Housing
ecological design	information management
geometry	information retrieval
ontology	information systems
representation	knowledge management
sustainability	project management
<b>KÜME 21</b>	<b>KÜME 22</b>
bim adoption	Evacuation
building energy efficiency	facility management
building simulation	generative design
design of experiments	graph theory
developing countries	Layout
evolutionary algorithms	shape grammar
predicted mean vote	space syntax
review	spatial analysis
simulation-based optimization	Topology
<b>KÜME 23</b>	<b>KÜME 24</b>
comfort	building envelope
efficiency	computer simulation
envelope	Daylighting
integrated design	İlluminance
optimization	solar heat gain
simulation	solar radiation
trnsys	tropical climate
validation	visual comfort
<b>KÜME 25</b>	<b>KÜME 26</b>
computational fluid dynamics	building technology
energy saving	Construction
high-rise building	design strategies
numerical simulation	knowledge representation
wind comfort	software engineering
wind environment	system architecture
wind pressure	virtual prototyping
wind tunnel test	wind loads

Tablo 4.10. devam ediyor

<b>KÜME 27</b>	<b>KÜME 28</b>
architectural design education	computational geometry
architectural education	computer graphics
architectural practice	digital architecture
design studio	engineering design
e-learning	Planning
education	Rendering
learning	reverse engineering
<b>KÜME 29</b>	<b>KÜME 30</b>
bim technology	Adaptation
computer-aided design	cooling load
database	indoor air quality
decision making	natural ventilation
digital technology	Overheating
information technology	school buildings
lean construction	thermal performance
<b>KÜME 31</b>	<b>KÜME 32</b>
4d cad	Calibration
augmented reality	design tools
communication	finite element analysis
computer-supported cooperative work	indoor environment
information	parametric analysis
visualization	passive cooling
<b>KÜME 33</b>	<b>KÜME 34</b>
building energy performance	Design
cfD simulation	energy conservation
energy optimization	human factors
mediterranean climate	robust design
passive design	Sketching
thermal comfort	Usability
<b>KÜME 35</b>	
dynamic simulation	
generative design method	
integration	
parametric analysis	
residential building	
thermal mass	

Tablo 4.11. 1969-2020 yılları arasında bulunan makalelerde kullanılan anahtar kelimelerin kümelerle tanımlanan araştırma temalarının başlıkları

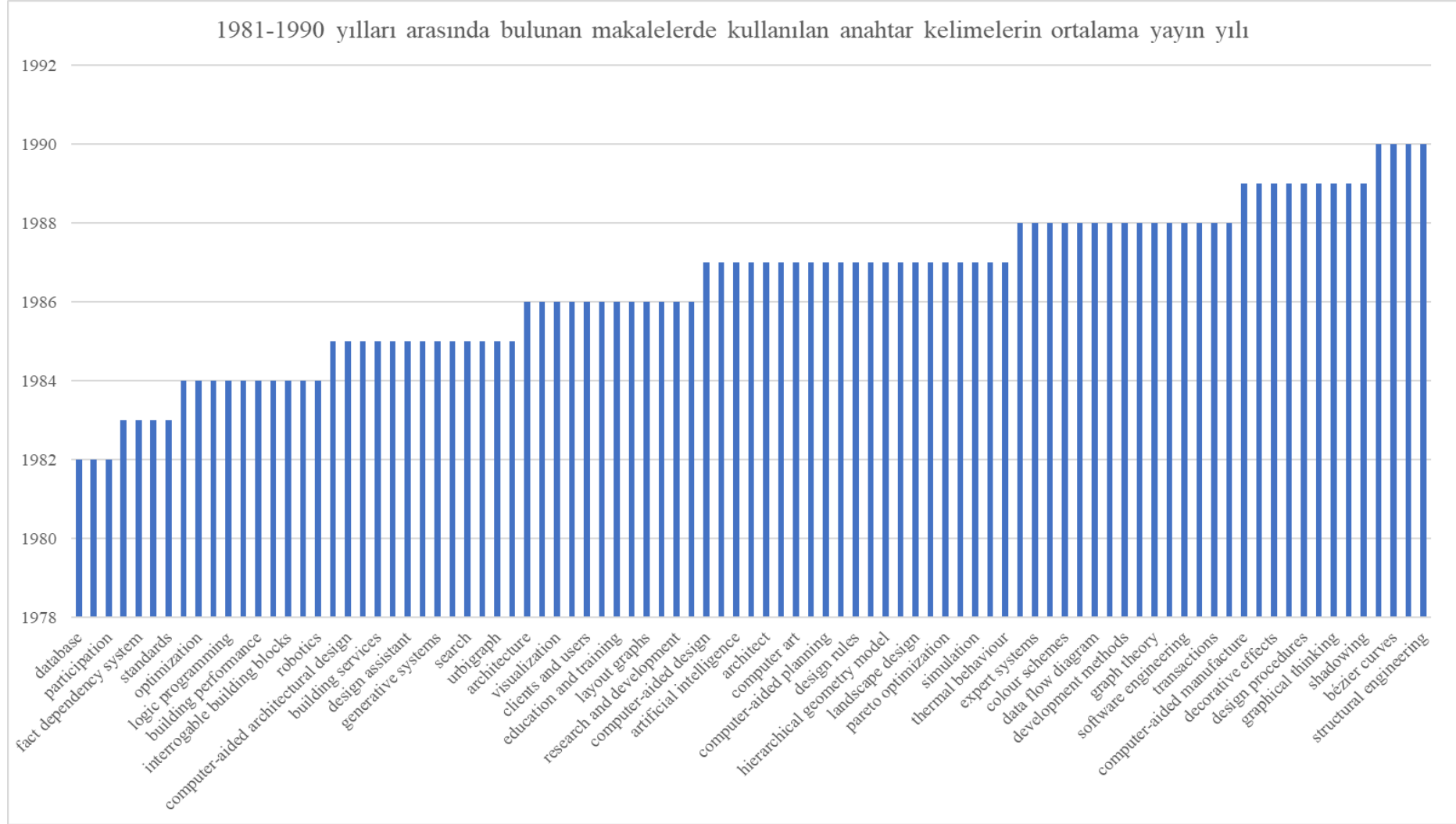
<b>KÜME 1</b>	Yapı bilgi modelleme	<b>KÜME 19</b>	Sürdürülebilirlik ve işbirliği
<b>KÜME 2</b>	Teknoloji ve akıllı sistemler	<b>KÜME 20</b>	Bilgi sistemleri ve proje yönetimi
<b>KÜME 3</b>	Mimari tasarım ve sanal gerçeklik	<b>KÜME 21</b>	Bina simülasyonu ve yapı bilgi modelleme adaptasyonu
<b>KÜME 4</b>	Genetik algoritma ve yapay zeka	<b>KÜME 22</b>	Üretken tasarım ve biçim grameri
<b>KÜME 5</b>	Sürdürülebilir mimarlık	<b>KÜME 23</b>	Optimizasyon ve bütünleşik tasarım
<b>KÜME 6</b>	Çok amaçlı optimizasyon ve makine öğrenimi	<b>KÜME 24</b>	Gün ışığı ve iklimlendirme
<b>KÜME 7</b>	Mimarlık, mimari tasarım süreci ve ulaşılabilir bilgisayar teknolojileri	<b>KÜME 25</b>	Hesaplamalı akışkanlar dinamiği
<b>KÜME 8</b>	Coğrafi bilgi sistemleri	<b>KÜME 26</b>	Strüktür analizi
<b>KÜME 9</b>	Bilgisayar destekli mimari tasarım	<b>KÜME 27</b>	Mimarlık eğitimi
<b>KÜME 10</b>	Bilgisayar programları ve bulanık mantık	<b>KÜME 28</b>	Hesaplamalı geometri
<b>KÜME 11</b>	Bilgisayar teknolojisi ve ajan temelli sistem	<b>KÜME 29</b>	Bilgisayar destekli tasarım
<b>KÜME 12</b>	Koruma ve sayısal tasarım	<b>KÜME 30</b>	Doğal havalandırma ve termal performans
<b>KÜME 13</b>	Bina tasarımı ve performansı	<b>KÜME 31</b>	Görselleştirme ve artırılmış gerçeklik
<b>KÜME 14</b>	Kavramsal tasarım ve çevresel faktörler	<b>KÜME 32</b>	Tasarım araçları
<b>KÜME 15</b>	Enerji verimliliği ve veri değişimi	<b>KÜME 33</b>	Bina enerji performansı ve termal konfor
<b>KÜME 16</b>	Uzman sistemler	<b>KÜME 34</b>	Tasarım ve kullanılabilirlik
<b>KÜME 17</b>	Performansa dayalı tasarım	<b>KÜME 35</b>	Dinamik simülasyon ve performans analizi
<b>KÜME 18</b>	Hesaplamalı tasarım ve sayısal imalat		

#### 4.2. Makalelerde Kullanılan Anahtar Kelimelerin Yıllara Göre Dağılımı

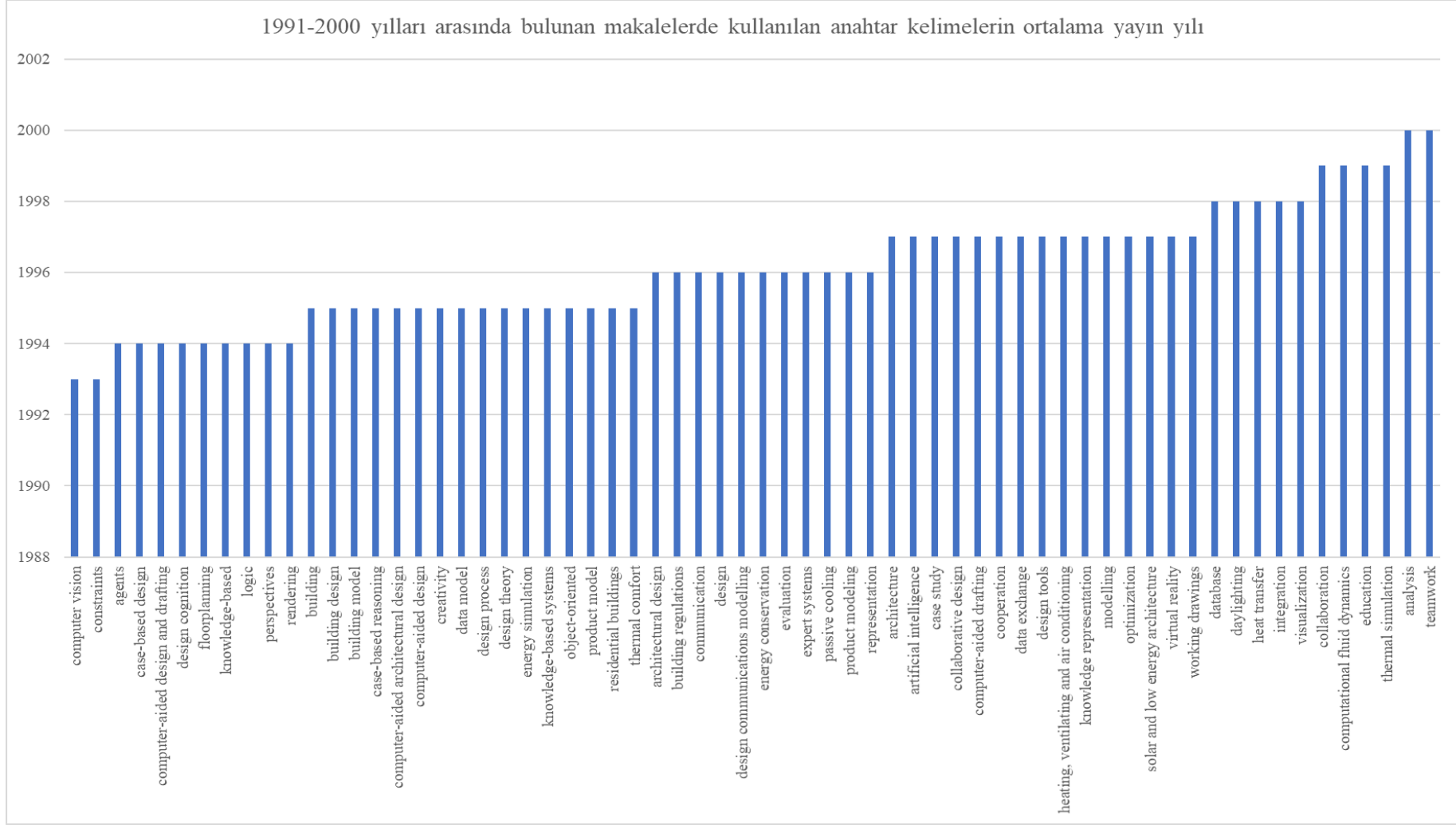
Makalelerde kullanılan anahtar kelimelerin yıllara göre dağılımı analizi anahtar kelimelerin hangi yıllarda daha popüler olduğunu ve daha çok kullanıldığını ya da hangi yıllarda kullanımının düştüğünü göstermektedir. VOSviewer'dan alınan verilerde anahtar kelimeler ve ortalama yayınlanma yılları yer almaktadır. VOSviewer programından çekilen

bu bilgiler Microsoft Excel programına aktarılıp yayın yıllarına göre anahtar kelimeler sıralanmıştır.

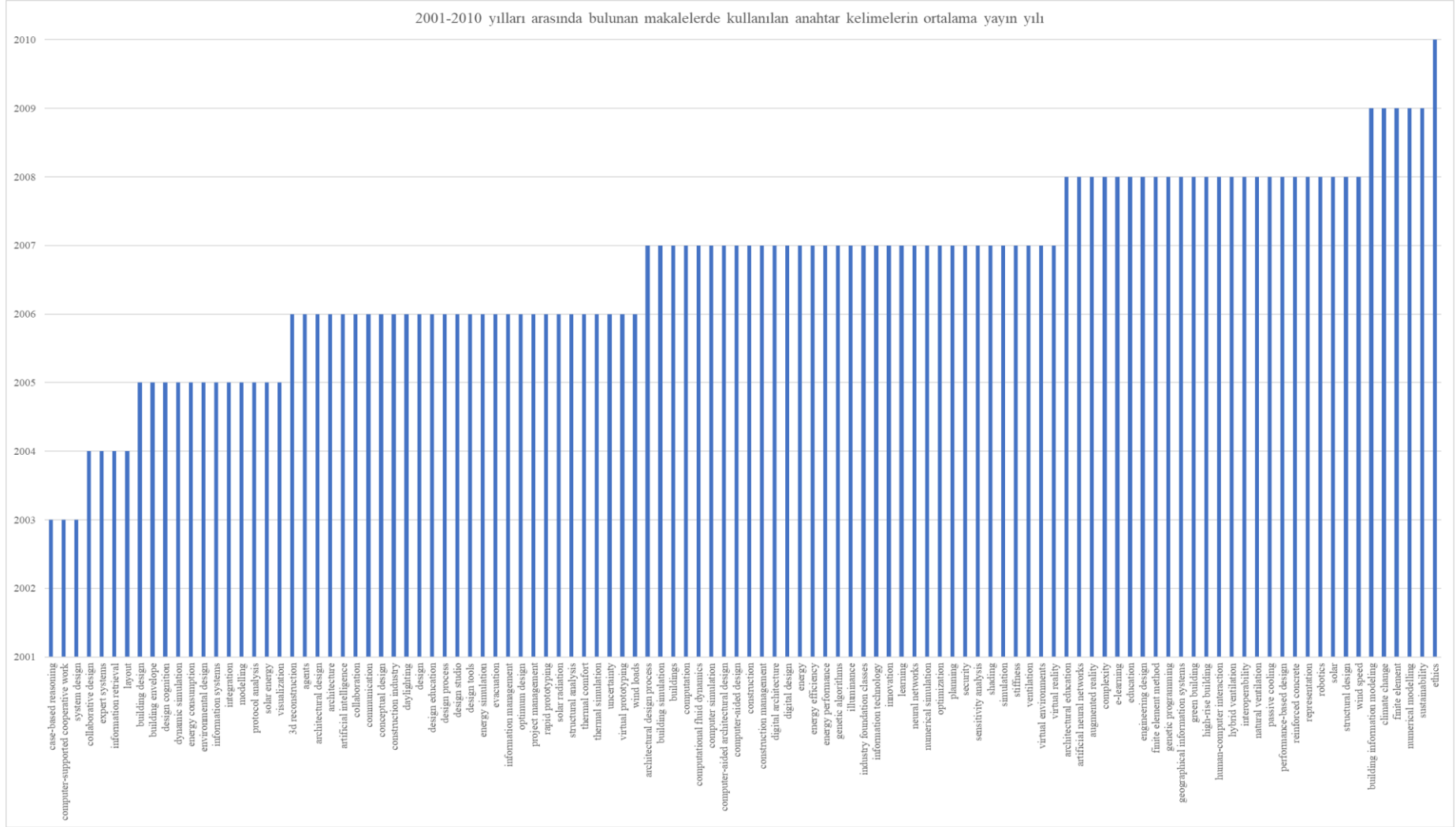
1969-1980 yılları arasında çıkan anahtar kelimelerin ortalama yayın yılı aynı olduğundan dolayı tablo oluşmamıştır. 1981-1990 yılları arasında bulunan makalelerde kullanılan anahtar kelimelerin ortalama yayın yılı Şekil 4.12.'de sunulmuştur. Analize göre database, participation ve fact dependency system terimleri eski, shadowing, bezier curves ve structural engineering terimleri ise yeni olarak görülmektedir. 1991-2000 yılları arasında bulunan makalelerde kullanılan anahtar kelimelerin ortalama yayın yılı Şekil 4.13.'te gösterilmiştir. Tabloya göre yayınlanma tarihi eski olan anahtar kelimeler computer vision ve constraints iken yeni olan anahtar kelimeler analysis ve teamwork olmuştur. 2001-2010 yılları arasında bulunan makalelerde kullanılan anahtar kelimelerin ortalama yayın yılı Şekil 4.14.'te sunulmuştur. Tabloda case-based reasoning, computer-supported cooperative work ve system design terimleri daha eski terimken wind speed, building information modelling (BIM), climate change, finite element, numerical modelling, sustainability ve ethics terimleri yayınlanma tarihleri daha yeni olan terimlerdir. 2011-2020 yılları arasında bulunan makalelerde kullanılan anahtar kelimelerin ortalama yayın yılı Şekil 4.15.'te gösterilmiştir. Tabloya bakıldığında design cognition ve collaborative design anahtar kelimeleri eskiyken, tropical climate, data mining, design optimization, information and communication technology (ICT) applications ve smart building anahtar kelimeleri yenidir. Son 50 yıldaki tüm anahtar kelimelere bakıldığında product model, case-based reasoning, knowledge-based system, agents, computer graphics, expert system ve computer aided design eski terimler içerisinde yer almaktadır. Buna karşın optimization algorithm, simulation-based optimization, surrogate model, additive manufacturing, design optimization, early design stage, literature review, point cloud, sustainable design, deep learning, ICT applications ve smart building yıllara göre en yeni terimlerdir.



Şekil 4.12. 1981-1990 yılları arasında bulunan makalelerde kullanılan anahtar kelimelerin ortalama yayın yılı



Şekil 4.13. 1991-2000 yılları arasında bulunan makalelerde kullanılan anahtar kelimelerin ortalama yayın yılı



Şekil 4.14. 2001-2010 yılları arasında bulunan makalelerde kullanılan anahtar kelimelerin ortalama yayın yılı





### 4.3. Konuyla İlgili En Fazla Makale Yazan Yazarlar

1969-1980 yılları arasında en fazla makale yazan yazarlar Tablo 4.12.'de sunulmuştur. John S. Gero ve Charles M. Eastman (Chuck Eastman) 3 makale ile ilk sırada yer almışlardır. Gero'nun araştırma alanı; tasarımda bilişsellik, hesaplamalı tasarım, bilimsel tasarım, bilişsel bilim ve yapay zekadır. Eastman ise yapı bilgi modellemesi, katı ve parametrik modelleme, mühendislik veri tabanları ve ürün modelleme alanında uzmanlaşmıştır. Tablodaki diğer yazarlar 2 yayımla listeye girmiştir.

Tablo 4.12. 1969-1980 yılları arasında en fazla makale yazan yazarlar

Yayın Sayısı	Yazar(lar)
3	GERO JS, EASTMAN CM
2	RADFORD AD, ANSON M, BAXTER AJ, HOSKINS EM, LINZEY MPT, MAVER TW

1981-1990 yılları arasında en fazla makale yazan yazarlar Tablo 4.13.'de gösterilmiştir. Paul Fazio, Krishnan Gowri, Steven J. Fenves ve John S. Gero 3 makaleyle listede yer almışlardır. Bu liste Tablo 3 ile benzerlik göstermektedir. Fazio'nun çalışma alanı: yapı fiziği, ısıtma, soğutma ve havalandırma sistemleri (HVAC), inşaat yönetimi ve bilgisayar destekli bina tasarımıdır. Gowri'nin çalışma alanı ise yapı bilgi modelleme, yapı enerji modelleme, enerji analizi simülasyonu, ısıtma ve soğutma yükü hesaplamaları ve enerji kodları için yazılım geliştirmedir. En erken yapısal analiz sistemlerinden biri olan STRESS'in (Structural Engineering Systems Solver) geliştiricilerinden olan Fenves'in çalışma alanı: bilgisayar destekli mühendislik, mühendislik veri tabanları, bilgi tabanlı sistemler, makine öğrenmesi ve kapsamlı tasarım ortamlarıdır. Listeye giren diğer yazarların 2 makalesi bulunmaktadır.

Tablo 4.13. 1981-1990 yılları arasında en fazla makale yazan yazarlar

Yayın Sayısı	Yazar(lar)
3	FAZIO P, GOWRI K, FENVES SJ, GERO JS
2	BEDARD C, CUOMO DL, DEEBLE VC, HASHIMSHONY R, PROBERT SD, ROTH J, SHARIT J, HENDRICKSON C, AISH R, CRAWLEY DRURY B, GULLICHSEN E, HAAS W, SWINSON PSG

1991-2000 yılları arasında en fazla makale yazan yazarlar Tablo 4.14.'de gösterilmiştir. Önceki zaman dilimleri için yapılan analizlere bakıldığında 1991-2000 yılları arasında en fazla makale yazan yazarlara yeni isimler katılmıştır. Naai-Jung Shih 8 makale ile ilk sırada yer almıştır. Shih'in araştırma alanı: hızlı prototip destekli görselleştirme, 3 boyutlu tarama, dijital koruma ve bilgisayar destekli mimari tasarımıdır. Shih'i 2 makaleyle Ulrich Flemming ve Ardeshir Mahdavi takip etmektedir. Flemming'in çalışma alanı, bilgisayar destekli tasarımın yanı sıra nesneye dayalı programlama, programlama dili, birleşik modelleme dili ve yazılım geliştirmedir. Mahdavi ise, bina fiziği, yapıların termal, görsel ve akustik performansı, enerji tasarruflu bina tasarımı ve bina performans simülasyonları alanlarında çalışmalarını yürütmüştür. Önceki yıllarda daha fazla makaleye sahip olan ve öne çıkan yazarlardan Chuck Eastman ve John S. Gero listede 5 makaleyle alt sıralara düşmüşlerdir. Listeye 4 makaleyle giren Yehuda E. Kalay ise alandaki önemli isimlerdendir. Kalay ACADIA'nın (Mimarlıkta Bilgisayar Destekli Tasarım Derneği) kurucu üyesi ve eski başkanı olup uluslararası hakemli bir dergi olan Automation in Construction'ın eski yardımcı editörüdür. Kalay araştırmalarında dijital ve ortak çalışmaya dayalı tasarım alanlarına odaklanmıştır.

Tablo 4.14. 1991-2000 yılları arasında en fazla makale yazan yazarlar

Yayın Sayısı	Yazar(lar)
8	SHIH NJ
7	FLEMMING U, MAHDAVI A
6	LAM JC, SHAVIV E
5	OXMAN R, CLARKE JA, EASTMAN CM, GERO JS
4	AOUAD G, FENVES SJ, RIVARD H, WOODBURY R, AKIN Ö, LI DHW, SCHMITT G, KALAY YE, GROSS MD
3	BRANDON P, CHILD T, FORD S, YOUNG B, COOPER G, GOMEZ N, GARRETT JH, CLAYTON MJ, KURMANN D, HIRSCHBERG U, FALTINGS B, FISCHER MA, KUNZ JC, TEICHOLZ P, MAVER TW, RADFORD A, STREILEIN A, BECKER R, GALLE P, KOUTAMANIS A, MARTINI K, NORTON B

2001-2010 yılları arasında en fazla makale yazan yazarlar Tablo 4.15.'de gösterilmiştir. Tabloda önceki yıllarda aktif olarak yayın yapan birçok yazar yer almamaktadır. Listeye yeni giren birçok yazar vardır. Öncelikle 1991-2000 yılları arasında 2. sırada yer alan Ardeshir Mahdavi 9 makaleyle listede ilk sırada yerini almaktadır. Sonrasında 8 makaleyle Danny H. W. Li ve Xiangyu Wang takip etmektedir. Li yapı, enerji ve çevre alanında özelleşmiştir. Bunların yanı sıra güneş radyasyonu, gün ışığı ve tüm bunların tasarıma etkilerine incelemektedir. Profesör Wang ise Curtin Üniversitesinde yapı bilgi modelleme, inşaat ve proje yönetimi konularında özelleşmiştir. Alanda önemli bir yere sahip olan John S. Gero ise 4 makaleyle listeye son sıradan girmiştir.

Tablo 4.15. 2001-2010 yılları arasında en fazla makale yazan yazarlar

Yayın Sayısı	Yazar(lar)
9	MAHDAVI A
8	LI DHW, WANG X
7	WANG L
6	LI Y, LIU H, RIVARD H, WANG W
5	AUGENBROE G, CHEN Q, LAM JC, LAM KP, LEE J, LI H, NASSAR K, WONG NH, ZHANG H, ZHANG Y, ZMEUREANU R
4	ARDITI D, ATHIENITIS AK, BAXTER P, CAI S, CAPELUTO IG, CHEN H, CHEN J, CHEN X, CHOI J, COOK MJ, DAKAN M, GERO JS, GOLDBERG HE, GU N, HEYLIGHEN A, KATO S, LI J, LI S, MAHER ML, OXMAN R, PENG C, REFFAT RM, SACKS R, STAUB-FRENCH S, TZEMPELIKOS A, WONG SL, WU J, ZHANG B, ZHANG X

2011-2020 yılları arasında en fazla makale yazan yazarlar Tablo 4.16.'da gösterilmiştir. Listede ilk sırada Profesör Heng Li 18 makaleyle yer almaktadır. Hong Kong Polytechnic University'de çalışmakta olan Li'nin araştırma alanı; dijital ve akıllı yapı, yapı bilgi teknolojileri, inşaat yönetimi ve inşaat teknolojileridir. Li'yi 17 makaleyle önceki tabloda da ilk sıralarda yer alan Xiangyu Wang ve listeye yeni giren Jack Chin Pang Cheng takip etmektedir. Cheng'in araştırma alanı, yapı bilgi modelleme, yeşil binalar, nesnelerin interneti, sürdürülebilir binalar ve yapı mühendisliğidir.

Tablo 4.16. 2011-2020 yılları arasında en fazla makale yazan yazarlar

Yayın Sayısı	Yazar(lar)
18	LI H
17	CHENG JCP, WANG X.
15	LI Y
14	ZHANG J
13	ZHANG Y
12	CHEN K, CHEN X
11	HONG T, LI X, LU W, WANG J
10	KIM J, LI Z, LIU H, LIU J, YANG L, ZHANG X
9	FISCHER M, JIN R, KIM H, SACKS R, XU Z
8	AL-HUSSEIN M, EDWARDS DJ, GAN VJL, GASPARD AR, LEE J, LIU Y, MA L, RODRIGUES E, XUE F
7	CARLUCCI S, CHEN Y, GOMES Á, LEE S, LI B, LI J, MAK CM, TURRIN M, WANG Q, WANG S, YANG H, ZHANG L, ZHANG Q, ZHU Y
6	BECERIK-GERBER B, CHEN J, GOLPARVAR-FARD M, KOCH C, LEE JK, LIN YC, O'BRIEN W, REZGUI Y, SUN Y, WANG H, WANG L, WANG Y, WANG Z, WU H, WU J, WU Y, XU X, ZHANG H, ZHANG S, ZHOU J
5	ABANDA FH, ABRISHAMI S, ALVARADO RG, BISWAS T, BORRMANN A, COSTA JJ, DÍAZ-VILARIÑO L, EASTMAN CM, FERNANDES MS, GEYER P, HENSEN JLM, HONG SW, HUANG J, JABI W, KHOSHELHAM K, KIM K, KIM S, LI N, LI Q, LIN B, LIU Z, MARZOUK M, MENGES A, NAWARI NO, NIU J, PAPADONIKOLAKI E, PARK J, PARK S, RUIZ-MONTIEL M, SARIYILDIZ S, SU Y, TANG L, TURK Ž, WANG B, WANG TH, XU J, YAN W, YANG B, YANG X, ZHANG W, ZHANG Z, ZHAO J, ZHAO X, ZHOU X

1969-2020 yılları arasında en fazla makale yazan yazarlar Tablo 4.17.'de gösterilmiştir. 2001-2020 yıllarında üretken olan yazarlardan Wang 25 makaleyle listede başı çekmektedir. Curtin University'de BIM, altyapı, inşaat ve proje yönetimi, inşaatta bilgi teknolojisi, sanal, artırılmış ve karma gerçeklik konularında çalışmalarını sürdürmektedir. Wang'ı 23 makaleyle Li takip etmektedir.

Tablo 4.17. 1969-2020 yılları arasında en fazla makale yazan yazarlar

Yayın Sayısı	Yazar(lar)
25	WANG X.
23	LI H.
21	LI Y.
20	ZHANG Y.
19	MAHDAVI A.
17	CHENG JCP
16	CHEN X, LI DHW, LIU H, ZHANG J
15	EASTMAN CM, GERO JS
14	LU W, ZHANG X
13	CHEN K, FISCHER M, LAM JC, LEEJ, LIU J, SACKS R, WANG J, WANG L, YANG L
12	HONG T, LI X, ZHANG H
11	KIM J, LI J, SHIH NJ
10	CHEN J, KIM H, LI Z, LIU Y, RIVARD H, WANG W, WU J, YANG H, ZHU Y
9	FLEMMING U, JIN R, KALAY YE, LI B, MAK CM, OXMAN R, WANG S, WANG Y, XU X, XU Z, ZHANG L
8	AL-HUSSEIN M, AUGENBROE G, CLARKE JA, EDWARDS DJ, GAN VJL, GASPAR AR, HENSEN JLM, KATO S, KUNZ J, LAM KP, LEE S, MA L, RODRIGUES E, SHAVIV E, WANG H, WANG Q, WANG Z, WU W, XUE F, ZHANG Q, ZHANG Z, ZMEUREANU R
7	AOUAD G, CARLUCCI S, CHEN H, CHEN Y, FENVES SJ, GOMES Á, GROSS MD, GU N, KOCH C, LI S, LIN YC, LIU X, MAHER ML, NASSAR K, PENG C, REZGUI Y, STAUB-FRENCH S, SUN Y, TURRIN M, WU H, XU J, YANG J, YANG X, ZHANG C, ZHANG W, ZHOU X
6	AISH R, AKINCI B, BECERIK-GERBER B, BLOCKEN B, CHEN Q, CHOI J, GEYER P, GOLPARVAR-FARD M, HIYAMA K, HUANG J, KIM K, KIVINIEMI A, KUMAR S, KWOK KCS, LEE JK, LI N, LI Q, LIN B, MARZOUK M, MAVER TW, NAWARI NO, O'BRIEN W, PARK S, SARIYILDIZ S, TURK Ž, TZEMPELIKOS A, WANG G, WHYTE J, WONG NH, WU Y, WU Z, YANG T, ZHANG S, ZHAO X, ZHOU J

Tablo 4.17. devam ediyor

5	ABANDA F.H.ABRISHAMI S.AKIN O.ALVARADO R.G.ANUMBA C.J.ARDITI D.ATHIENITIS A.K.BISWAS T.BORRMANN A.BÉDARD C.CAI S.CAPELUTO I.G.CARMELET J.CHAN C.M.CHEN L.CHEN S.CHOW T.T.CLAYTON M.J.COSTA J.J.DENG X.DÍAZ-VILARIÑO L.FERNANDES M.S.GARRETT J.H.HEYLIGHEN A.HONG S.W.HUANG Y.JABI W.JIANG Y.JR.KHOSHELHAM K.KIM S.KIM I.KRISHNAMURTI R.KVAN T.LEE D.LI C.LI L.LIM Y.-W.LIU Z.LU X.MENGES A.MESSNER J.I.MITCHELL W.J.NIU J.PAN Y.PAPADONIKOLAKI E.PARK J.REFFAT R.M.RUIZ-MONTIEL M.SCHMITT G.SU Y.TANG L.WANG B.WANG C.WANG D.WANG T.-H.WONG S.L.WU D.XIE Y.YAN W.YANG B.YU H.ZHAI Z.ZHANG B.ZHANG G.ZHAO J.INARD C.
---	---

#### 4.4. Konuyla İlgili En Fazla Atıf Alan Yazarlar

1969-1980 yılları arasında en fazla atıf alan yazarlar Tablo 4.18.'de gösterilmiştir. Aynı yıllar arasında en fazla makale yazan yazar olan John S. Gero 63 makaleyle en fazla atıf alan yazarlar sıralamasında da başı çekmektedir. Sıralamayı Antony Radford 61 makaleyle takip etmektedir. Radford mimarlık, kentsel tasarım ve sayısal tasarım alanları üzerine çalışmalar yapmıştır. Sonrasında Eastman 46 makaleyle sıralamada ilk 3'teki yerini almıştır. Strathclyde Üniversitesindeki ABACUS Araştırma Grubunda yer alan Thomas W. Maver 16 atıfla tabloda görülmektedir. Tabloda yer alan Anson M. 5, Linzey MPT 4, Hoskins EM 3 ve Baxter AJ ise 1 atıfa sahiptir.

Tablo 4.18. 1969-1980 yılları arasında en fazla atıf alan yazarlar

Atıf Sayısı	Yazar(lar)
63	GERO JS
61	RADFORD AD
46	EASTMAN CM
16	MAVER TW
5	ANSON M
4	LINZEY MPT
3	HOSKINS EM
1	BAXTER AJ

1981-1990 yılları arasında en fazla atıf alan yazarlar Tablo 4.19.'da gösterilmiştir. Aynı zaman diliminde en fazla makale yazan yazarlar arasında olan Steven J. Fenves en fazla atıf alan yazarlar sıralamasında da 70 makaleyle ilk sırada yer almaktadır. Fenves'i 60 makaleyle Chris Hendrickson takip etmektedir. Gero ise 47 atıfla 3. sırada yer almaktadır. Gero'yu Krishnan Gowri 24 makaleyle izlemektedir. Sonrasında Robert Aish 22, Paul Fazio ve Peter S. G. Swinson 21, Claude Bedard 19, Rami Rashimshony ve Roth J. 15, Cuomo D. L. ve Sharit J. 13 makaleyle tabloda yer almaktadırlar.

Tablo 4.19. 1981-1990 yılları arasında en fazla atıf alan yazarlar

Atıf Sayısı	Yazar(lar)
70	FENVES SJ
60	HENDRICKSON C
47	GERO JS
24	GOWRI K
22	AISH R
21	FAZIO P, SWINSON PSG
19	BEDARD C
15	HASHIMSHONY R, ROTH J
13	CUOMO DL, SHARIT J
8	DEEBLE VC, PROBERT SD
1	CRAWLEY DRURY B, GULLICHSEN E

1991-2000 yılları arasında en fazla atıf alan ilk 30 sıradaki yazarlar Tablo 4.20.'de gösterilmiştir. Gero en fazla makale yazan yazarlar listesinin aksine bu listede 415 atıfla ilk sırada yer almaktadır. Sonrasında 310 atıfla Joseph Choi Lam ikinci sırada yer almıştır. Hong Kong Üniversitesi Mimarlık ve İnşaat Mühendisliği Bölümünde doçent olan Lam, öncesinde Londra'daki Ove Arup & Partners şirketler grubunda mühendis olarak çalışmıştır. Lam'ın araştırma alanları: bina tesisleri mühendisliği, binalar ve enerji ve çevredir.

Tablo 4.20. 1991-2000 yılları arasında en fazla atıf alan ilk 30 sıradaki yazarlar

Atıf Sayısı	Yazar(lar)
415	GERO JS
310	LAM JC
194	GROSS MD
161	FLEMMING U

Tablo 4.20. devam ediyor

156	LI DHW
122	AKIN Ö
114	CLARKE JA
87	FENVES SJ, RIVARD H
84	KALAY YE
80	MAHDAVI A, WOODBURY R
71	EASTMAN CM
69	GOMEZ N
65	KUNZ JC
62	SHAVIV E
60	SCHMITT G
58	CLAYTON MJ
54	GALLE P
53	AOUAD G
52	FISCHER MA
51	FALTINGS B
46	HIRSCHBERG U
43	COOPER G
40	OXMAN R
38	MARTINI K
37	KURMANN D
33	BRANDON P, CHILD T, FORD S, YOUNG B
31	TEICHOLZ P, KOUTAMANIS A
28	GARRETT JH
24	STREILEIN A
23	MAVER TW

2001-2010 yılları arasında en fazla atıf alan ilk 30 sıradaki yazarlar Tablo 4.21.'de gösterilmiştir. Bu yıllarda listeye birçok farklı isim katılmıştır. Technion-Israel Institute of Technology İnşaat ve Çevre Mühendisliği Bölümünde Profesör olan Rafael Sacks listede başı çekmektedir. Sacks BIM konusu üzerine odaklanmıştır. University of Wyoming Mimarlık ve İnşaat Mühendisliği Bölümünde profesör olan Liping Wang bina performansı için simülasyon modelleme, HVAC (Heating, Ventilating and Air Conditioning) sistemleri için otomatik arıza tespiti ve optimizasyonu, enerji verimli bina tasarımı ve hesaplamalı hava akış modellemesi üzerinde çalışmaktadır. Listede 3. Sırayı 541 yayınlı Concordia University Yapı, İnşaat ve Çevre Mühendisliği Bölümünde Profesör Andreas K. Athienitis ve Purdue University İnşaat Mühendisliği Bölümünde Profesör Athanasios Tzempelikos paylaşmaktadır. 1991-2000 yılları arasında atıf sıralamasında ilk sırada olan Gero 2001-



2010 yılları arasındaki listede 96 yayınlı sonlarda yer almıştır. Sayısal tasarım alanındaki önemli isimlerden Eastman listede bulunmamaktadır.

Tablo 4.21. 2001-2010 yılları arasında en fazla atıf alan ilk 30 sıradaki yazarlar

Atıf Sayısı	Yazar(lar)
574	SACKS R
569	WANG L
541	ATHIENITIS AK, TZEMPELIKOS A
520	CHEN Q
397	WANG W
376	ZMEUREANU R
373	LI DHW
351	AUGENBROE G
349	RIVARD H
220	WONG SL
216	CAPELUTO IG
213	WONG NH
211	LAM JC
207	OXMAN R
192	CHEN X, ZHANG Y
168	MAHDAVI A
149	CAI S
140	ARDITI D
135	STAUB-FRENCH S
130	WANG X
126	Lİ H
123	MAHER ML
119	COOK MJ
104	NASSAR K
96	GERO JS
85	CHOI J
73	CHEN J, LI Y
68	LAM KP
65	HEYLIGHEN A
64	LIU H

2011-2020 yılları arasında en fazla atıf alan ilk 30 sıradaki yazarlar Tablo 4.22.'de gösterilmiştir. Listedeki ilk sırada Xiangyu Wang yer almaktadır. Profesör Wang Curtin Üniversitesinde yapı bilgi modelleme (BIM), inşaat ve proje yönetimi konularına

odaklanmıştır. Onu Hong Kong University of Science and Technology İnşaat ve Çevre Mühendisliği Bölümünde Profesör Jack Chin Pang Cheng 525 yayınlı takip etmektedir. Sonrasında University of Illinois at Urbana-Champaign İnşaat Mühendisliği, Bilgisayar Bilimi ve Teknolojisi Bölümü'nde görev alan Dr. Mani Golparvar Fard 486 makaleyle üçüncü sırada yer almaktadır.

Tablo 4.22. 2011-2020 yılları arasında en fazla atıf alan ilk 30 sıradaki yazarlar

Atıf Sayısı	Yazar(lar)
855	WANG X
525	CHENG JCP
486	GOLPARVAR-FARD M
447	O'BRIEN W
369	HENSEN JLM
346	BECERIK-GERBER B
337	CARLUCCI S
328	YAN W
323	LEE S
316	ZHANG S
308	WANG J
244	ABANDA FH
241	EASTMAN CM
224	KIM H
221	LI Y
218	LU W
216	LIU J
209	LI B
206	LI H
201	ZHOU J
196	LI X
194	XUE F
180	SACKS R
170	TURRIN M, ZHANG X
166	CHEN X
164	YANG X
163	MAK CM, WANG Y
161	GEYER P
158	LI Z
153	YANG H

Son 50 yılda en fazla atıf alan ilk 30 sıradaki yazarlar listesi Tablo 4.23.'te sunulmuştur. Listede 1041 atıfla Burcu Akıncı başı çekmektedir. Carnegie Mellon University İnşaat ve Çevre Mühendisliği Bölümünde profesör olan Akıncı'nın araştırma alanları; inşaat ve tesis yönetim süreçlerini kolaylaştırmak için tesislerin geçmişleri hakkında modelleme ve mantık yürütme yaklaşımlarının geliştirilmesidir. Sonrasında 1969-2020 yılları arasında en fazla makale yazan yazar olan Xiangyu Wang 985 atıfla listede ikinci sırada yer almaktadır. Wang'ı 754 atıfla Rafael Sacks takip etmektedir. Athanasios Tzempelikos ve Andreas K. Athienitis sırasıyla 691 ve 666 atıfla dördüncü ve beşinci sırada listedeki yerlerini almaktadır. Onları sayısal tasarım alanında öncü olan araştırmacılardan John S. Gero 621 atıfla takip etmektedir. Alandaki bir diğer önemli isim olan Charles M. Eastman (Chuck Eastman) 466 atıfla listenin ortalarında yer almaktadır.

Tablo 4.23. 1969-2020 yılları arasında en fazla atıf alan ilk 30 sıradaki yazarlar

Atıf Sayısı	Yazar(lar)
1041	AKINCI B
985	WANG X
754	SACKS R
691	TZEMPELIKOS A
666	ATHIENITIS AK
621	GERO JS
588	LI DHW
574	WANG L
542	LAM JC
525	CHENG JCP
522	CHEN Q
486	GOLPARVAR-FARD M
466	EASTMAN CM
460	HENSEN JLM
447	O'BRIEN W
436	RIVARD H
420	ZMEUREANU R
416	AUGENBROE G
415	LI X
408	WANG W
358	CHEN X, ZHAI Z
357	GU N
354	FISCHER M
346	BECERIK-GERBER B

Tablo 4.23. devam ediyor

337	CARLUCCI S
332	LI H
328	LEE S, YAN W
316	ZHANG S
315	WHYTE J
312	KVAN T

#### 4.5. En Fazla Yayın Yapan Üniversitelerin ve Kurumların Yayın Sayıları

1969-1980 yılları arasında en fazla yayın yapan üniversiteler ve kurumlar Tablo 4.24.'de sunulmuştur. Strathclyde Üniversitesi 5 yayınlı başı çekmektedir. Sydney Üniversitesi, CSIRO Division of Building Research, Liverpool ve Carnegie Mellon Üniversitesi onu 3 yayınlı takip etmektedir. Sonrasında 2 yayınlı Kraliyet Sanat Koleji, Cambridge Uygulamalı Araştırma Grubu, Ove Arup & Partners şirketler grubu ve Leeds Beckett Üniversitesi listeye girmiştir.

Tablo 4.24. 1969-1980 yılları arasında en fazla yayın yapan üniversiteler ve kurumlar

Yayın Sayısı	Üniversite(ler) ve Kurum(lar)
5	University of Strathclyde
3	University of Sydney, CSIRO Division of Building Research (Commonwealth Scientific and Industrial Research Organisation), University of Liverpool, Carnegie Mellon University
2	Royal College of Art, Cambridge Applied Research, Ove Arup & Partners, Leeds Beckett University

1981-1990 yılları arasında en fazla yayın yapan üniversite ve kurumlar Tablo 4.25.'te gösterilmiştir. Listeye bu yıllarda yeni üniversite ve kurumlar da katılmıştır. İlk sırada Carnegie Mellon University ve Concordia University 7 yayınlı yer almaktadır. Sonrasında 6 yayınlı University of Sydney gelmektedir. 1969-1980 yılları arasındaki analizde ilk sırada olan University of Strathclyde 1981-1990 yılları arasında 4 yayınlı üçüncü sıraya düşmüştür. Bunların haricinde Ove Arup & Partners şirketler grubu 1969-1980 yılları arasındaki zaman diliminde olduğu gibi 2 yayınlı listede son sırada yer almıştır.

Tablo 4.25. 1981-1990 yılları arasında en fazla yayın yapan üniversiteler ve kurumlar

Yayın Sayısı	Üniversite(ler) ve Kurum(lar)
7	Carnegie Mellon University, Concordia University
6	The University of Sydney
4	University of Strathclyde, The State University of New York
3	University of Illinois at Urbana-Champaign, Technion - Israel Institute of Technology
2	Bauwesen GmbH, Natl Building Technology Cent, The Royal Institute of Technology KTH, University of Victoria, Politechnika Warszawska, Zhejiang University, Cranfield University, National University of Singapore, National Institute of Standards and Technology, University of California, University of Michigan, The University of Edinburgh, Ove Arup & Partners

1991-2000 yılları arasında en fazla yayın yapan üniversite ve kurumlar Tablo 4.26.'da sunulmuştur. 1969-1980 zaman diliminde 3 makaleye sahip olan Carnegie Mellon Üniversitesi 10 yayımla listede ilk sırada yer almaktadır. Sonrasında Technion – Israel Institute of Technology Üniversitesi 8 yayımla, California Üniversitesi 6 yayımla, Salford Üniversitesi 5 yayımla takip etmektedir. Listeye 2 yayımla son sıradan giren Building Energy Research Group binaların tasarım ve enerji performanslarını iyileştirmeye yönelik araştırma yapan, akademisyenlerden oluşan bir topluluktur.

Tablo 4.26. 1991-2000 yılları arasında en fazla yayın yapan üniversiteler ve kurumlar

Yayın Sayısı	Üniversite(ler) ve Kurum(lar)
10	Carnegie Mellon University
8	Technion - Israel Institute of Technology
6	University of California
5	Salford University
4	Stanford University, National Taiwan University of Science and Technology, ETH Zurich - Swiss Federal Institute of Technology
3	Tsinghua University
2	The University of Manchester, Building Energy Research Group, The University of Adelaide, King Fahd University of Petroleum & Minerals, Eindhoven University of Technology, Fukuyama University, Georgia Institute of Technology, Sulzer Infra, University of Savoy Mont Blanc – Chambery, US Army Construction Engineering Research Laboratory

2001-2010 yılları arasında en fazla yayın yapan üniversite ve kurumlar Tablo 4.27.'de gösterilmiştir. City University of Hong Kong 19 yayımla başı çekmektedir. Önceki yıllarda ilk sırada yer alan Carnegie Mellon University 18 makaleyle ikinci sırada yer almaktadır. National University of Singapore ve Technion-Israel Institute of Technology onu 17 yayımla takip etmektedir. Sonrasında Hong Kong Polytechnic University 16 yayımla, Georgia Institute of Technology 15 yayımla ve Delft University of Technology, University of Michigan ve Concordia University 14 yayımla listeye girmiştir.

Tablo 4.27. 2001-2010 yılları arasında en fazla yayın yapan üniversiteler ve kurumlar

Yayın Sayısı	Üniversite(ler) ve Kurum(lar)
19	City University of Hong Kong
18	Carnegie Mellon University
17	National University of Singapore, Technion-Israel Institute of Technology
16	Hong Kong Polytechnic University
15	Georgia Institute of Technology
14	Delft University of Technology, University of Michigan, Concordia University
12	Stanford University, University of California, Tsinghua University, The University of Sydney, Technische Universiteit Eindhoven
11	University of Salford, Massachusetts Institute of Technology, University of Cambridge
10	National Cheng Kung University, Tongji University
9	Zhejiang University, The University of Hong Kong, Lawrence Berkeley National Laboratory, Imperial College London, Technische Universität Wien, Shanghai Jiao Tong University, University of Ljubljana, Vilniaus Gedimino Technikos Universitetas,
8	IEEE, Pennsylvania State University, Purdue University, The University of British Columbia, University of Nottingham, Yonsei University, National Institute of Standards and Technology, Chongqing University, ETH Zürich, Ecole Polytechnique Fédérale de Lausanne
7	Nanyang Technological University, King Fahd University of Petroleum and Minerals, National Research Council Canada, KU Leuven, The University of Tokyo, Virginia Polytechnic Institute and State University, National Taiwan University of Science and Technology

Tablo 4.27. devam ediyor

6	Loughborough University, Ministry of Education China, University of Pennsylvania, CNRS Centre National de la Recherche Scientifique, The University of Texas at Austin, Seoul National University, Bilkent Üniversitesi, De Montfort University, Xi'an Jiaotong University, Chinese Academy of Sciences, Harbin Institute of Technology, Texas A&M University, École de Technologie Supérieure, Universidad Politécnica de Madrid, North Dakota State University
---	---

2011-2020 yılları arasında en fazla yayın yapan üniversiteler ve kurumlar Tablo 4.28.'de sunulmuştur. Bunlardan Hong Kong Polytechnic University 41 makale ile ilk sırada yer almaktadır. Onu Tongji University 35 makale ile takip etmektedir. Üniversitede 1958 yılında Mimari Tasarım ve Araştırma Enstitüsü (Architectural Design and Research Institute) kurulmuştur. Enstitü daha sonra büyük ölçekli tasarım danışmanlığı yapan Tongji Architectural Design (TJAD) grubu olarak büyümüştür. TJAD hem mühendislik tasarımı hem de teknik danışmanlık hizmeti vermektedir. Tongji University'nin hemen ardından 34 makaleyle Delft University of Technology gelmektedir. Üniversitenin Mimarlık ve Yapılı Çevre Fakültesine bağlı Mimarlıkta Hesaplama (Computation in Architecture) Bölümü bulunmaktadır. Mimarlıkta Hesaplama Bölümünün hedefi; yapı sektörüne bütünleştirici sayısal yöntemleri entegre etmek için BIM'in daha verimli kullanılmasına odaklanmaktır. Ayrıca bölüm mimarlık, mühendislik ve yapı endüstrisinde (AEC) zamanın ve ekonominin, kaynak kullanımının, inşaatın ve tasarımın üretkenliklerini artırmayı hedeflemektedir. 1991-2000 yılları arasında ilk sırada ve 2001-2010 yılları arasında ikinci sırada olan sayısal tasarım alanında önemli bir yere sahip Carnegie Mellon Üniversitesi 17 makaleyle listenin orta sıralarına düşmüştür. Ülkemizden İstanbul Teknik Üniversitesi de 15 yayınlı listede yer almaktadır.

Tablo 4.28. 2011-2020 yılları arasında en fazla yayın yapan üniversiteler ve kurumlar

Yayın Sayısı	Üniversite(ler) ve Kurum(lar)
41	Hong Kong Polytechnic University
35	Tongji University
34	Delft University of Technology
28	The University of Hong Kong, Tsinghua University
27	Hong Kong University of Science and Technology
26	University of Nottingham Ningbo China
24	University College London
23	Pennsylvania State University
22	Cairo University
21	ETH Zürich, Massachusetts Institute of Technology, Ministry of Education China, Technische Universiteit Eindhoven, University of Illinois at Urbana-Champaign
20	Cardiff University, City University of Hong Kong, Hanyang University
18	Curtin University, Georgia Institute of Technology, University of Melbourne, University of Southern California
17	Carnegie Mellon University, Southeast University, University of Michigan,
16	Stanford University, University of Florida
15	Istanbul Teknik Üniversitesi, Kyung Hee University, Lawrence Berkeley National Laboratory, Tianjin University
14	Deakin University, Harbin Institute of Technology, Technion - Israel Institute of Technology, University of Cambridge, University of Tehran, Wuhan University
13	Birmingham City University, Chongqing University, KU Leuven, Technical University of Munich, The University of Sydney, Universidade de Lisboa, Universiti Teknologi Malaysia, University of Ljubljana, Virginia Polytechnic Institute and State University
12	National University of Singapore, Politecnico di Torino, Queensland University of Technology, Universidade de Coimbra
11	Danmarks Tekniske Universitet, Texas A&M University
10	Ecole Polytechnique Fédérale de Lausanne, Loughborough University, National Taipei University of Technology, Norges Teknisk-Naturvitenskapelige Universitet, Politecnico di Milano, University of Bath, University of California, University of Reading
9	Chinese University of Hong Kong, Universidad Politécnica de Madrid, Universiteit Gent, University of Colorado, University of New South Wales, University of Technology Sydney
8	Chung-Ang University, Concordia University, Technische Universität Wien, The University of British Columbia, University of Leeds



1969-2020 yılları arasında en fazla yayın yapan üniversiteler ve kurumlar Tablo 4.29.'da gösterilmiştir. Tsinghua University 21 makaleyle ilk sırada yer almaktadır. Üniversitede Yapı Teknolojisi ve Bilimi Bölümü 2000 yılında Yapı Teknolojisi Bölümü, Isı Mühendisliği Bölümü ile Bina Çevre ve Enerji Mühendisliği Bölümünün disipliniyle kurulmuştur. 2011-2020 yılları arasında en üretken olan Hong Kong Polytechnic University 20 makaleyle ikinci sıradadır. Sonrasında son 50 yılda en fazla atıf alan üniversiteler ve kurumlar listesinde ikinci sırada olan Hong Kong University of Science and Technology 18 makaleyle listede üçüncü sırada yer almaktadır. 1991-2010 yılları arasındaki listelerde ilk sırada yer alan Carnegie Mellon University 14 makaleyle listeye dördüncü sıradan girmiştir.

Tablo 4.29. 1969-2020 yılları arasında en fazla yayın yapan üniversiteler ve kurumlar

Yayın Sayısı	Üniversite(ler) ve Kurum(lar)
21	Tsinghua University
20	Hong Kong Polytechnic University
18	Hong Kong University of Science and Technology
14	Carnegie Mellon University
9	IEEE (The Institute of Electrical and Electronics Engineers)
8	University of Illinois at Urbana-Champaign
6	University of Hong Kong, City University of Hong Kong, Louisiana State University, University of Salford
5	Birmingham City University, Cardiff University, National University of Singapore
4	The University of Tokyo, Cairo University, Deakin University, Pennsylvania State University, Hanyang University, University of Coimbra
3	Huazhong University of Science and Technology, Imperial College, Loughborough University, Southwest Jiaotong University, Tianjin University, Tokyo Institute of Technology, AIAA, ASCE, Chiba University, China Railway Eryuan Engineering Group Co. Ltd, Chung-Ang University, Cracow University of Technology, Georgia Institute of Technology, Harbin Institute of Technology, Inha University, Istanbul Technical University, Kyung Hee University, National Cheng Kung University, National Taiwan University of Science and Technology, Ove Arup Partnership, Stanford University, Taisei Advanced Center of Technology, Trinity College, University of California, University of Johannesburg, University of Michigan, University of Newcastle, University of Reading, University of Sheffield, University of Southern California, University of Sydney, University of Vigo, Vienna University of Technology

#### 4.6. En Fazla Atıf Alan Üniversitelerin ve Kurumların Atıf Sayıları

1969-1980 yılları arasında en fazla atıf alan üniversiteler ve kurumlar Tablo 4.30.'da gösterilmiştir. Sheffield Üniversitesi 91 makaleyle ilk sırada yer almaktadır. En fazla yayın yapan Strathclyde Üniversitesi en fazla atıf alan üniversiteler içerisinde de 68 makaleyle başlarda yer almaktadır. Carnegie Mellon Üniversitesi 46 yayımla ilk 3'te sıralamaya girmiştir. Ove Arup & Partners 40, Sydney Üniversitesi 38 yayımla diğerlerini takip etmektedir. En fazla yayın yapan üniversiteler arasında yer alan Kraliyet Sanat Koleji ve Leeds Beckett Üniversitesi 2 makaleyle listede en sonda yer almaktadır.

Tablo 4.30. 1969-1980 yılları arasında en fazla atıf alan üniversiteler ve kurumlar

Atıf Sayısı	Üniversite(ler) ve Kurum(lar)
91	University of Sheffield
68	University of Strathclyde
46	Carnegie Mellon University
40	Ove Arup & Partners
38	University of Sydney
16	University of Liverpool
15	Los Alamos National Lab
14	Indian Institute of Technology Roorkee
11	McGill University, University of Surrey, University of California
8	CSIRO Division of Building Research (Commonwealth Scientific and Industrial Research Organisation)
5	Ayres Associates, The University of Texas, Cornell University, University of Illinois
4	Technion - Israel Institute of Technology
2	Royal College of Art, Professional Software Associates (PSA), Leeds Beckett University

1981-1990 yılları arasında en fazla atıf alan üniversiteler ve kurumlar Tablo 4.31.'de gösterilmiştir. Carnegie Mellon Üniversitesi önceki yıllara göre atıf sayısını artırıp 135 makaleyle listede başı çekmektedir. 110 makaleyle University of Illinois Urbana-Champaign takip etmektedir. The University of British Columbia 82 makaleyle listeye üçüncü sıradan girmiştir. Bir diğer atıf sayısını artıran kurum olan Sydney Üniversitesi 57 makaleyle, CSIRO Division of Building Research 38 makaleyle ve Technion-Israel Institute of Technology 13 makaleyle listede yerlerini almaktadır. Bunun aksine 1969-1980 yılları arasında 40 atıfa sahip olan Ove Arup & Partners 22 makaleyle listeye girerek düşüş

yaşamıştır. Listeye son sırada 10 makaleyle The MITRE Corporation ve State University of New York girmiştir.

Tablo 4.31. 1981-1990 yılları arasında en fazla atıf alan üniversiteler ve kurumlar

Atıf Sayısı	Üniversite(ler) ve Kurum(lar)
135	Carnegie Mellon University
110	University of Illinois Urbana-Champaign
82	The University of British Columbia
57	The University of Sydney
54	Stanford University
53	McMaster University, ETH Zurich - Swiss Federal Institute of Technology
38	CSIRO Division of Building Research (Commonwealth Scientific and Industrial Research Organisation)
31	University of Massachusetts
28	Search Technology
26	Ben-Gurion University of the Negev, Concordia University
25	University at Buffalo
22	Ove Arup & Partners
21	University of Edinburgh, University of Essex, Massachusetts Institute of Technology, University of California
19	University of North Florida, The Ohio State University
18	University of Colorado
15	Catholic University of Leuven
13	Technion - Israel Institute of Technology
12	Bechtel Corporate Headquarters, Jordan University of Science and Technology, The University of Iowa
11	National Institute of Standards and Technology, Structural Consultants Incorporated
10	The MITRE Corporation, State University of New York

1991-2000 yılları arasında en fazla atıf alan üniversiteler ve kurumlar Tablo 4.32.'de sunulmuştur. Listede başı önceki yıllarda da ilk sırada yer alan Carnegie Mellon Üniversitesi 213 makaleyle çekmektedir. Az bir farkla Building Energy Research Group 200 makaleyle listede ikinci sırada yer almaktadır. Ardından Technion-Israel Institute of Technology 102 makaleyle, University of California 96 makaleyle takip etmektedir. Stanford Üniversitesi önceki yıllardaki gibi listenin başlarında yer almakta ve atıf sayısını artırıp 59 makaleyle listeye girmektedir.

Tablo 4.32. 1991-2000 yılları arasında en fazla atıf alan üniversiteler ve kurumlar

Atıf Sayısı	Üniversite(ler) ve Kurum(lar)
213	Carnegie Mellon University
200	Building Energy Research Group
102	Technion - Israel Institute of Technology
96	University of California
77	King Fahd University of Petroleum & Minerals
59	Stanford University
55	Salford University
31	ETH Zurich - Swiss Federal Institute of Technology
25	Fukuyama University
22	The University of Manchester
17	Eindhoven University of Technology
10	US Army Construction Engineering Research Laboratory
8	National Taiwan University of Science and Technology
4	Tsinghua University
2	Georgia Institute of Technology, University of Savoy Mont Blanc - Chamberry
1	The University of Adelaide

2001-2010 yılları arasında en fazla atıf alan üniversite ve kurumlar Tablo 4.33.'te gösterilmiştir. 318 atıfla Teagasc Agricultural Research Center listede ilk sırada yer almaktadır. Teagasc Agricultural Research Center birçok araştırma konusu üzerinde çalışmaktadır. Tarımsal faaliyetlerin yanı sıra duyuşsal bilim, arkeoloji, geleneksel binalar ve özellikleri, peyzaj ile iklim değişikliği konularına odaklanmıştır. The Institute of Electrical and Electronics Engineers 271 atıfla onu takip etmektedir. IEEE elektrik, elektronik, bilgisayar, otomasyon, telekomünikasyon ve diğer birçok alanda mühendislik teorisi ve uygulamalarının gelişimi için araştırmalar yapan bir organizasyondur. Sonrasında American Society of Civil Engineers 266 atıfla üçüncü sırada yer almaktadır. 1852 yılında kurulan ASCE en eski mühendislik topluluğudur. 177 ülkede 150.000'den fazla inşaat mühendisi topluluğa üyedir. Farklı disiplinlerden oluşan çalışma alanları vardır. Bunlar; mimari mühendislik, yapı, mekanik mimari, çevresel ve su kaynakları, yapısal mühendislik, ulaşım ve kalkınma ile jeoteknik mühendisliğidir.

Tablo 4.33. 2001-2010 yılları arasında en fazla atıf alan üniversiteler ve kurumlar

Atıf Sayısı	Üniversite(ler) ve Kurum(lar)
318	Teagasc Agricultural Research Centre
271	IEEE (The Institute of Electrical and Electronics Engineers)
266	ASCE (American Society of Civil Engineers)
248	City University of Hong Kong
234	University of Quebec
209	National University of Singapore
163	University of Nottingham
148	AIAA (American Institute of Aeronautics and Astronautics)
141	University of Warwick, Imperial College London
134	Concordia University, Purdue University
122	Georgia Institute of Technology
81	University of Technology
73	Illinois Institute of Technology
73	National Cheng Kung University
70	University of British Columbia
69	University of Ljubljana
68	De Montfort University
67	The University of Nottingham
48	Norwegian University of Science and Technology, Yonsei University
44	Chinese University of Hong Kong
43	United Technologies Research Center
32	Temasek Polytechnic
29	Imperial College
26	Eth Zurich, Carnegie Mellon University, University of Minho
24	University of Newcastle
23	University of Sydney, Woods Bagot
18	University of Michigan
16	China Academy of Building Research

2011-2020 yılları arasında en fazla atıf alan üniversiteler ve kurumlar Tablo 4.34.'de sunulmuştur. Liste 415 atıfla Hong Kong University of Science and Technology başı çekmektedir. Onu 319 yayınlı Kyung Hee University takip etmektedir. Aynı zaman diliminde en fazla yayımlayan üniversiteler ve kurumlar tablosunda ilk sırada yer alan Hong Kong Polytechnic University atıf sıralamasında 302 yayınlı üçüncü sırada yer almaktadır. 1969-2000 yılları arasında en fazla atıf alan üniversiteler ve kurumlar listesinde ilk sıralarda yer alan Carnegie Mellon University 2011-2020 yılları arasındaki tabloya girememiştir.

Tablo 4.34. 2011-2020 yılları arasında en fazla atıf alan üniversiteler ve kurumlar

Atıf Sayısı	Üniversite(ler) ve Kurum(lar)
415	Hong Kong University of Science And Technology
319	Kyung Hee University
302	Hong Kong Polytechnic University
284	University of Illinois at Urbana-Champaign
114	Tsinghua University
81	University of Hong Kong
73	Pennsylvania State University
68	Hanyang University
53	University of Reading
48	Cairo University
42	Birmingham City University
33	Cardiff University
32	Huazhong University of Science and Technology
30	Deakin University
29	City University of Hong Kong
28	University of Johannesburg
27	Trinity College
26	Tsinghua University
25	University of Coimbra
24	Southwest Jiaotong University
20	Chung-Ang University, University of Michigan
15	University of Sydney, University of Vigo
13	University of Tokyo
8	Louisiana State University
4	Cracow University of Technology

1969-2020 yılları arasında en fazla atıf alan üniversiteler ve kurumlar Tablo 4.35.'te gösterilmiştir. Son 50 yılda en fazla yayın yapan üniversiteler ve kurumlar analizinde ikinci sırada yer alan Hong Kong Polytechnic University 441 atıfla listede ilk sırada yer almaktadır. Sonrasında 415 makaleyle 2011-2020 yılları arasında en fazla atıf alan Hong Kong University of Science and Technology gelmektedir. En fazla yayın yapan ve en fazla atıf alan üniversite ve kurum listelerinde başlarda yer alan sayısal tasarım alanında önemli bir yere sahip Carnegie Mellon University 195 atıfla listedeki yerini almıştır.

Tablo 4.35. 1969-2020 yılları arasında en fazla atıf alan üniversiteler ve kurumlar

Atıf Sayısı	Üniversite(ler) ve Kurum(lar)
441	Hong Kong Polytechnic University
415	Hong Kong University of Science and Technology
319	Kyung Hee University
295	IEEE (The Institute of Electrical and Electronics Engineers)
283	University of Illinois at Urbana-Champaign
269	ASCE (American Society of Civil Engineers)
214	Tsinghua University
209	National University of Singapore
195	Carnegie Mellon University
148	AIAA (American Institute of Aeronautics and Astronautics)
142	Georgia Institute of Technology
112	University of Sheffield
80	City University of Hong Kong
76	University of Southern California
70	University Park
62	Hanyang University
61	University of Hong Kong
59	University of California
53	Ove Arup Partnership
48	Stanford University
46	University of Reading
42	Cairo University
32	Birmingham City University
29	University of Salford
28	Cardiff University
27	National Cheng Kung University
25	Huazhong University of Science and Technology
24	Vienna University of Technology
22	Deakin University

#### 4.7. Yayınların Dergilere Göre Dağılımı

1969-1980 yılları arasında bulunan makalelerin dergilere göre dağılımı Tablo 4.36.'da gösterilmiştir. Buna göre sayısal tasarım alanında en çok makale 19 yayın sayısı ile "Computer Aided Design" dergisinde çıkmıştır. Bu derginin ardından 6 yayımla "Building and Environment" dergisi gelmektedir. "Architectural Science Review" ve "Building Science" dergileri 4 yayımla diğerlerini takip etmektedir. Listede 3'er yayına sahip Amerikan İnşaat Mühendisleri Derneği'nin dergisi olan "Journal of the Structural Division",

“Computer and Structures” ve “Energy and Buildings” dergileri yer almaktadır. Tabloda yer alan “Design Studies”, “International Journal of Mathematical Education in Science and Technology” ve “The International Journal of Materials and Engineering Technology” dergileri 2 yayımla listeye girmiştir.

Tablo 4.36. 1969-1980 yılları arasında bulunan makalelerin dergilere göre dağılımı

Yayın Sayısı	Dergiler
19	Computer Aided Design
6	Building and Environment
4	Architectural Science Review, Building Science
3	ASCE Journal of the Structural Division, Build Int Engl Ed, Computers and Structures, Energy and Buildings
2	Design Studies, International Journal of Mathematical Education in Science and Technology, The International Journal of Materials and Engineering Technology

1981-1990 yılları arasında bulunan makalelerin dergilere göre dağılımı Tablo 4.37.’de gösterilmiştir. 1969-1980 yılları arasında da en çok makale sayısına sahip “Computer Aided Design” dergisi 26 yayın sayısı ile 1981-1990 yılları arasında da ilk sırada yer almaktadır. Bu derginin ardından mühendislik, yapı ve inşaat dergisi olan “Acta Polytechnica Scandinavica Civil Engineering and Building Construction Series” ve “Construction Specifier” dergileri 10 yayımla gelmektedir. Listede 8 yayına sahip olan “Design Studies” dergisi önceki on yıla göre yayın sayısını artırmıştır. “Australian Refrigeration Air Conditioning and Heating” ve “Bauingenieur Berlin” dergileri 5 yayımla diğerlerini takip etmektedir. Listede 4’er yayına sahip Amerikan Isıtma, Soğutma ve Klima Mühendisleri Derneği’nin dergisi olan “ASHRAE Journal”, “Batiment International Building Research Practice” ve “Building and Environment” dergileri yer almaktadır. “Environment and Planning B: Urban Analytics and City Science”, “HPAC Heating Piping Air Conditioning” ve “Journal of Computing In Civil Engineering” dergileri 3’er yayına sahiptir. Tabloda yer alan diğer dergiler ise 2 makaleyle listeye girmişlerdir.



Tablo 4.37. 1981-1990 yılları arasında bulunan makalelerin dergilere göre dağılımı

Yayın Sayısı	Dergiler
26	Computer Aided Design
10	Acta Polytechnica Scandinavica Civil Engineering and Building Construction Series, Construction Specifier
8	Design Studies
5	Australian Refrigeration Air Conditioning and Heating, Bauingenieur Berlin
4	ASHRAE Journal, Batiment International Building Research Practice, Building and Environment
3	Environment Planning B Planning Design, HPAC Heating Piping Air Conditioning, Journal of Computing in Civil Engineering
2	Advances in Engineering Software 1978, Applied Energy, Architectural Science Review, Artificial Intelligence in Engineering, Canadian Journal of Civil Engineering, Civil Engineering New York N Y, Computer Aided Engineering, Computers Environment and Urban Systems, Energy and Buildings, Engineering with Computers, IEEE Computer Graphics and Applications, Japan Telecommunications Review, Journal of Architectural Planning Research, Journal of Structural Engineering United States, Manufacturing Systems, Microcomputers in Civil Engineering, Modern Steel Construction, Proceedings of SPIE The International Society for Optical Engineering, Technical Report United States Army Corps of Engineers Construction Engineering Research Labora

1991-2000 yılları arasında bulunan makalelerin dergilere göre dağılımı Tablo 4.38.'de gösterilmiştir. Önceki yıllarda listeye giremeyen “Automation in Construction” dergisi 84 makaleyle ilk sırada yer almıştır. 1969-1990 yılları arasında birinciliği koruyan “Computer Aided Design” dergisi 4 makaleyle son sıralara düşmüştür. Konuyla ilgili önceki zaman dilimlerinde de listede iyi bir yere sahip olan “Building and Environment” dergisi 28 makaleyle ikinci sırada yer almaktadır. Listede 20 yayın sayısına sahip “Design Studies” dergisi önceki 20 yıl içerisinde yayın sayısını giderek artırmıştır. Önceki on yılda da listede yer alan ve Amerikan İnşaat Mühendisleri Derneği tarafından iki ayda bir yayınlanan hakemli bilimsel bir dergi olan “Journal of Computing in Civil Engineering” 14 yayımla listedeki yerini almıştır. Bu dergiyi az bir farkla “Journal of Architectural Engineering” dergisi 12 yayımla takip etmektedir. Devamında “Computing in Civil Engineering New York”, “Journal of Architectural and Planning Research” ve “Renewable Energy” dergileri 11 yayımla listede yer almaktadır. Konuyla ilgili bir diğer önemli dergi olan “Architectural Science Review” 9 yayımla listede önemli bir yere sahiptir. Dergi 1958 yılında Sydney Üniversitesi'nde Profesör Henry Cowan tarafından mesleki gelişimi teşvik amacıyla

kurulmuştur. Dergide ilk sayıdan itibaren termal konfor, aydınlatma ve sürdürülebilir mimarlık gibi konuları kapsayan makaleler yayınlamıştır. Ayrıca dergide yapı bilimi ve teknolojileri, çevresel sürdürülebilirlik, yapı ve malzeme, akustik, bina fiziği ve mimarlık tarihi gibi birçok farklı alandan konferans ve araştırma yazıları, doktora tezleri bulunmaktadır. 1969-1990 yılları arasında ilk sırada yer alan “Computer Aided Design” dergisi 4 makaleyle listede en alt sıralara düşmüştür.

Tablo 4.38. 1991-2000 yılları arasında bulunan makalelerin dergilere göre dağılımı

Yayın Sayısı	Dergiler
84	Automation in Construction
28	Building and Environment
20	Design Studies
14	Journal of Computing in Civil Engineering
12	Journal of Architectural Engineering
11	Computing in Civil Engineering New York, Journal of Architectural and Planning Research, Renewable Energy
9	Architectural Science Review, Artificial Intelligence in Engineering, Computer Aided Civil and Infrastructure Engineering
7	Modern Steel Construction
6	Civil Engineering
5	Acta Polytechnica Scandinavica Civil Engineering and Building Construction Series, Artificial Intelligence for Engineering Design Analysis and Manufacturing AIEDAM, Energy and Buildings, IEEE Multimedia, International Journal of Space Structures
4	Advances in Engineering Software, Building Research and Information, Computer Aided Design, Construction Specifier
3	ASHRAE Transactions, Computers and Structures, Computers in Industry, Consulting Specifying Engineer, Electronic Journal of Information Technology in Construction, Elevator World, Environment and Planning B Planning and Design, HAC, Journal of Constructional Steel Research, Qinghua Daxue Xuebao Journal of Tsinghua University, Solar Energy

2001-2010 yılları arasında bulunan makalelerin dergilere göre dağılımı Tablo 4.39.’da sunulmuştur. Önceki 10 yıllık zaman dilimine göre ikinci sırada olan “Building and Environment” dergisi 73 makaleyle ilk sırada yer almaktadır. “Automation in Construction” dergisi ise 57 makaleyle onu takip etmektedir. Önceki zaman dilimlerinde son sıralarda yer alan “Energy and Buildings” dergisi 33 makaleyle listede 3. sırada yerini almıştır. Bu dergi binalarda enerji kullanımıyla ilgili makaleler yayınlayan uluslararası bir dergidir. Derginin amacı, bir yapının enerji ihtiyacını azaltmayı ve iç mekanın kalitesini iyileştirmeyi

hedefleyen yeni araştırma sonuçlarını ve kanıtlanmış yeni uygulama tekniklerini sunmaktır. Bu dergiyi 27 makaleyle “Solar Energy” dergisi takip etmektedir. Dergi ilk olarak 1954 yılında kurulan Uluslararası Güneş Enerjisi Topluluğunun dergisi olarak faaliyet göstermeye başlamıştır. Topluluk güneş enerjisi kullanımına yönelik araştırma ve geliştirme konusunda bilgi vermektedir. Önceki yıllarda da aktif olan “Design Studies” ve “Renewable Energy” dergileri 19 makaleyle listede yerlerini almaktadır. “Design Studies” tasarım süreci anlayışını geliştirmeye odaklanan önde gelen uluslararası akademik bir dergidir. Mühendislik ve ürün tasarımı, mimarlık ve kentsel tasarım, bilgisayarla üretilen ürünler ve sistem tasarımı gibi uygulama alanlarında tasarım etkinliğini inceleyen makalelere yer veren bir dergidir. Bir diğer önemli dergi olan “Architectural Science Review” dergisi önceki 10 yıllık zaman dilimine göre makale sayısını artırıp 11 makaleyle listeye girmiş olsa da genel sıralamada düşüşe geçmiştir. Aynı şekilde “Computer Aided Design” dergisi 9 makaleyle listede yerini almaktadır.

Tablo 4.39. 2001-2010 yılları arasında bulunan makalelerin dergilere göre dağılımı

Yayın Sayısı	Dergiler
73	Building and Environment
57	Automation in Construction
33	Electronic Journal of Information Technology in Construction, Energy and Buildings
27	Solar Energy
19	Design Studies, Renewable Energy
18	Cadalyst
15	Journal of Computing in Civil Engineering
14	Engineering Structures, Journal of Architectural Engineering
13	Lecture Notes in Computer Science (Including Subseries Lecture Notes in Artificial Intelligence and Lecture Notes in Bioinformatics), Structural Engineer
12	Modern Steel Construction
11	Architectural Science Review
10	Advanced Engineering Informatics, Artificial Intelligence for Engineering Design, Analysis and Manufacturing: Aidedam, Expert Systems with Applications
9	Applied Thermal Engineering, Cad Computer Aided Design, Computer-Aided Civil and Infrastructure Engineering, Journal of Structural Engineering
8	Architectural Engineering and Design Management, Construction Specifier, Smart Materials and Structures, Wit Transactions on Ecology and the Environment

Tablo 4.39. devam ediyor

7	Applied Energy, Computer-Aided Design and Applications, Enr (Engineering News-Record), Journal of the Faculty of Engineering and Architecture of Gazi University, International Journal of Ventilation
6	Building Services Engineering Research and Technology, Journal of Professional Issues in Engineering Education and Practice, Journal of Wind Engineering and Industrial Aerodynamics, Thin-Walled Structures, International Journal of Space Structures
5	Civil Engineering, Computers in Human Behavior, Environment and Planning B: Planning and Design, How, Jisuanji Jicheng Zhizao Xitong/Computer Integrated Manufacturing Systems, Cims, Journal of Architectural and Planning Research, Journal of Construction Engineering and Management, Landscape and Urban Planning, Open House International, Qinghua Daxue Xuebao/Journal of Tsinghua University, Vdi Berichte, Interactions, International Journal for Housing Science and Its Applications

2011-2020 yılları arasında bulunan makalelerin dergilere göre dağılımı Tablo 4.40.'da gösterilmiştir. Önceki yıllarda da hatırı sayılır bir şekilde listeye giren “Automation in Construction” dergisi 204 makaleyle listede başı çekmektedir. “Automation in Construction” tasarımda bilgi teknolojilerinin, mühendislik ve yapı teknolojilerinin ve yapı binaların bakım ve yönetiminin kullanımına ilişkin konuları kapsayan makaleler yayınlayan uluslararası bir dergidir. Derginin alanı, yapının ilk planlama ve tasarımından inşasına, işletilmesine ve bakımına, yapılarının sökülüp geri dönüştürülmesine kadar yapı yaşam döngüsünün tüm aşamalarını kapsayacak şekilde genişler. Derginin kapsadığı konular şunlardır; bilgisayar destekli tasarım, ürün modelleme, karar destek sistemleri, sınıflandırma ve standardizasyon, ürün veri değişimi; bilgisayar destekli mühendislik, süreç simülasyon modelleme; robotik, ölçme bilimi, lojistik, otomatik gözleme, yıkım ve iyileştirme; tesisat yönetimi, yönetim bilişim sistemleri ve akıllı kontrol sistemleridir. Dergi Education in Computer Aided Architectural Design in Europe (eCAADe), International Association for Automation and Robotics in Construction (IAARC) ve International Council for Research and Innovation in Building and Construction (C.I.B.) gibi önemli kuruluşlar tarafından da desteklenmektedir. Listeyi önceki 10 yıllık zaman diliminde ilk sırada yer alan “Building and Environment” dergisi 129 makaleyle takip etmektedir. Dergide yapı bilimi, kent fiziği, iç ve dış yapı çevreyle insan etkileşimi konularını ele alan makaleler yer almaktadır. “Building and Environment” dergisi akıllı teknolojiler ve yüksek performanslı binalar ve şehirler için entegre sistemler; bina bilimi ve mühendisliğinde termal, akustik ve

görsel performans, konfor ve hava kalitesi ve tüm bunların insanlar üzerindeki etkileri; tasarım ve karar alma topluluğu için hesaplama, ekonomi, eğitim ve yönetim için araçlar; çevresel etkileri azaltmak ve düşük karbonlu, sürdürülebilir yapıları çevreler elde etmek için üretilen çözümler gibi konularda araştırma yapılan makaleleri yayınlamaktadır. Listede 3.sırada alanda önemli bir yere sahip olan “Energy and Buildings” dergisi 101 makaleyle yer almakta olup geçen yıllara göre yayınlanan makale sayısını artırmıştır. Sıralamayı 48 makaleyle “International Journal of Architectural Computing” takip etmektedir. Dergi bilgisayar destekli tasarımın araştırma ve geliştirmesini teşvik etmeye adanmış topluluklar tarafından kurulmuş hakemli bir dergidir. Mimari hesaplama 2002 yılında beş uluslararası CAAD kuruluşu olan eCAADe (Education and Research in Computer Aided Architectural Design in Europe), ACADIA (Association of Computer Aided Design in Architecture), CAADRIA (Computer Aided Architectural Design Research in Asia), SIGraDi (Sociedad Iberoamericana de Grafica Digital) ve CAADFutures Foundation arasında kurulan bir anlaşmadır. Bu kuruluşlar, konferanslar ve etkinlikler düzenlemektedirler ve “International Journal of Architectural Computing” dergisinin yapımında ortaklaşa çalışmaktadırlar.

Tablo 4.40. 2011-2020 yılları arasında bulunan makalelerin dergilere göre dağılımı

Yayın Sayısı	Dergiler
204	Automation in Construction
129	Building and Environment
101	Energy and Buildings
48	International Journal of Architectural Computing
43	Applied Energy
41	Journal of Information Technology in Construction
37	Journal of Computing in Civil Engineering
36	Engineering Structures
33	Journal of Building Engineering
31	Advanced Engineering Informatics
29	Sustainability (Switzerland)
28	Energies
27	Architectural Science Review
25	Engineering, Construction and Architectural Management
23	Solar Energy
21	Journal of Asian Architecture and Building Engineering
19	Journal of Cleaner Production, Journal of Construction Engineering and Management, Renewable and Sustainable Energy Reviews
18	Energy

Tablo 4.40. devam ediyor

17	Building Simulation, Design Studies, Sustainable Cities and Society
16	Architectural Engineering and Design Management, Computer-Aided Civil and Infrastructure Engineering, Journal of Civil Engineering and Management
15	Journal of Building Performance Simulation
14	Architectural Design, Boletin Tecnico/Technical Bulletin, Bulletin of Earthquake Engineering
13	Journal of Architectural Engineering, Journal of Green Building, Nexus Network Journal, Renewable Energy, Stahlbau
12	Intelligent Buildings International
11	Building Research and Information, Electronic Journal of Information Technology in Construction
10	Cad Computer Aided Design, Canadian Journal of Civil Engineering, Construction Management and Economics, Ksce Journal of Civil Engineering, Proceedings of The Institution of Civil Engineers: Structures and Buildings
9	Archnet-Ijar, Computer-Aided Design and Applications, Enr (Engineering News-Record), Frontiers of Architectural Research, Geomechanik und Tunnelbau, Journal of Advanced Oxidation Technologies, Journal of Engineering, Design and Technology, Proceedings of The Institution of Civil Engineers: Civil Engineering, Safety Science, International Journal of Technology and Design Education
8	Agro Food Industry Hi-Tech, Aij Journal of Technology and Design, Computers, Environment and Urban Systems, Construction Innovation, Journal of Management in Engineering, Remote Sensing, World Transactions on Engineering and Technology Education, Wit Transactions on Ecology and The Environment, International Journal of Sustainable Development and Planning
7	Acm Transactions on Graphics, Alexandria Engineering Journal, Building, Building Services Engineering Research and Technology, Ega Revista de Expresion Grafica Arquitectonica, Journal of Computational Design and Engineering, Journal of Railway Engineering Society, Journal of Structural and Construction Engineering, Indoor and Built Environment, International Journal of Parallel, Emergent and Distributed Systems, Isprs Journal of Photogrammetry and Remote Sensing
6	Computer Graphics Forum, Energy Efficiency, Journal of Engineering and Applied Science, Journal of Professional Issues in Engineering Education and Practice, Magazine of Civil Engineering, Practice Periodical on Structural Design and Construction, International Journal of Smart Home

1969-2020 yılları arasında bulunan makalelerin dergilere göre dağılımı Tablo 4.41.'de sunulmuştur. 345 yayımla Automation in Construction ilk sırada yer almaktadır. 1991 yılından itibaren ilk sıralarda yer alan dergi tasarımı, bilgi teknolojileri, mühendislik ve yapı teknolojileri konularını kapsayan makaleler yayınlayan uluslararası bir dergidir. Listede sonrasında 240 yayımla her geçen yıl yayınladıkları makale sayısını artıran Building and Environment dergisi gelmektedir. Onu 144 makaleyle Energy and Buildings ve 69 makaleyle Journal of Computing in Civil Engineering takip etmektedir. 1981-2010 yılları arasındaki listelerde başlarda yer alan Design Studies dergisi 66 makaleyle beşinci sırada yer almaktadır. 1969-1990 yılları arasında ilk sırada yer alan Computer Aided Design 49 yayımla alt sıralara düşmüştür.

Tablo 4.41. 1969-2020 yılları arasında bulunan makalelerin dergilere göre dağılımı

Yayın Sayısı	Dergiler
345	Automation in Construction
240	Building and Environment
144	Energy and Buildings
69	Journal of Computing in Civil Engineering
66	Design Studies
54	Solar Energy
53	Applied Energy, Architectural Science Review
50	Engineering Structures
49	Computer-Aided Design
48	International Journal of Architectural Computing
47	Electronic Journal of Information Technology in Construction
43	Renewable Energy
41	Advanced Engineering Informatics, Journal of Information Technology in Construction
39	Journal of Architectural Engineering
33	Journal of Building Engineering
31	Computer-Aided Civil and Infrastructure Engineering
29	Sustainability (Switzerland)
28	Energies, Engineering, Construction and Architectural Management
26	Journal of Construction Engineering and Management
24	Architectural Engineering and Design Management, Journal of Asian Architecture and Building Engineering
22	Construction Specifier
21	Energy, Modern Steel Construction
20	Journal of Cleaner Production, Structural Engineer

Tablo 4.41. devam ediyor

19	Building Simulation, Cad Computer Aided Design, Canadian Journal of Civil Engineering, Journal of Civil Engineering and Management, Renewable and Sustainable Energy Reviews
18	Cadalyst
17	Artificial Intelligence for Engineering Design, Analysis and Manufacturing: AIEDAM, Building Research and Information, ENR (Engineering News-Record), Journal of Building Performance Simulation, Lecture Notes in Computer Science (Including Subseries Lecture Notes in Artificial Intelligence and Lecture Notes in Bioinformatics), Sustainable Cities and Society
16	Computer-Aided Design and Applications, Journal of Architectural and Planning Research, Journal of Green Building, WIT Transactions on Ecology and the Environment
15	Acta Polytechnica Scandinavica, Civil Engineering and Building Construction Series, Architectural Design, Building Services Engineering Research and Technology, Expert Systems with Applications, Proceedings of the Institution of Civil Engineers: Structures and Buildings, Intelligent Buildings International
14	Boletin Tecnico/Technical Bulletin, Bulletin of Earthquake Engineering, Nexus Network Journal, Stahlbau
13	Advances in Engineering Software, Artificial Intelligence in Engineering, Computers, Environment and Urban Systems, Construction Management and Economics, International Journal of Space Structures



## 5. TARTIŞMA

Tezin bu bölümünde araştırma bulguları irdelenmekte ve detaylı olarak tartışılmaktadır. Tartışma, bulguların anlatıldığı bölüme paralel olarak yapılandırılmıştır ve makalelerde yer alan anahtar kelimeler ve anahtar kelimelerin yıllara göre dağılımı, konuyla ilgili en fazla makale yazan yazarlar, konuyla ilgili en fazla atıf alan yazarlar, konuyla ilgili en fazla yayın yapan üniversiteler ve kurumlar, konuyla ilgili en fazla atıf alan üniversiteler ve kurumlar ve yayınların dergilere göre dağılımı olmak üzere altı kısımdan oluşmaktadır.

### 5.1. Makalelerde Yer Alan Anahtar Kelimeler ve Anahtar Kelimelerin Yıllara Göre Dağılımı

Mimarlıkta sayısal tasarım araştırmaları hakkında çok fazla yayın bulunmaktadır. Sayısal tasarımla ilgili uzmanlaşma arttıkça ve konu çeşitlendikçe bu alan daha disiplinler arası bir alan haline gelmiştir. Böylece bu alanda yıllar içinde çok fazla terim türemiştir. Bu durum yapılan bibliyometrik analizin alanını genişletmiştir ve yapılan analizin sınırlarını oluşturmada göz önüne alınması gereken önemli bir etken olmuştur. Bu çalışmada da, yıllara göre yapılan anahtar kelime analizlerinde sayısal tasarımla ilgili terminolojilerin zamanla farklılaştığı gözlemlenmiştir.

1981-1990, 1991-2000 ve 2001-2010 yıllarındaki periyotlarda anahtar kelimelerin kullanım sıklığına bakıldığında ilk üç sıradaki en çok kullanılan anahtar kelimeler sırasıyla: bilgisayar destekli tasarım, mimari tasarım ve bina tasarımıdır. Analizin başladığı 1969 yılından itibaren Bilgisayar Destekli Tasarım (CAD) terimi literatürdeki yerini almaktadır. 1969-2000 yılları arasında ilk sırada yer alan CAD, 2011-2020 yılları arasında ilk sıradaki yerini yapı bilgi modellemeye (BIM) bırakmıştır.

Bilgisayar destekli tasarımın amacı, tasarımcı ve bilgisayarın yaratıcı tasarım problemleri üzerinde birlikte çalışmasına izin verecek bir insan-makine sistemi geliştirmektir [39]. Sayısal tasarımın ilk adımı Ivan Sutherland tarafından 1963'te icat edilen bilgisayar destekli iki boyutlu ilk modelleme aracı olan Sketchpad'le atılmıştır [40]; [41]. Bilgisayar destekli tasarım uygulamalarının ilki olan Sketchpad tasarımcıların verimliliğini artırmayı hedeflemiştir. Sutherland'ın Sketchpad'ı yaratma amacı bir insan ve bir bilgisayarın sohbet etmesini sağlayan bir sistem yaratmak istemesidir [42]. Sutherland, ilk etkileşimli bilgisayar destekli tasarım programı olan Sketchpad'i oluşturmak için TX-2 bilgisayarının hesaplama gücünden yararlanmıştı [41].

1969-1980 yılları arasında kullanılan anahtar kelimelerden biri olmayan bilgisayar destekli mimari tasarım (CAAD) terimi 1980'lerden itibaren ortaya çıkmış olup etkisini günümüze kadar yıldan yıla artırmıştır. Fakat 2011-2020 yılları arasında bu terimin bilimsel araştırmalardaki yaygın kullanımı son bulmuştur. Bununla birlikte, bilgisayar destekli mimari tasarım (CAAD) araçları mimarlar için kullanışlı araçlar olarak var olmaya devam etmiştir [43]. Görselleştirme teknikleri, internet, organizasyonel formlar ve programlama dillerindeki ilerlemeler sayesinde CAAD yazılımları her geçen gün gelişmektedir [44]. Çok sayıda kullanıcılarının olması, CAAD'in geleceğini şekillendirmede uygulamaların artan önemini göstermektedir [45].

1969-1980 arası dönemde bilgisayar destekli tasarım dışında sıklıkla kullanılan anahtar kelimeler: mimari tasarım, mühendislik tasarımı, bilgisayar grafikleri, robotlar, veri yapıları ve otomatik tasarım (automated design)'dir. Özellikle otomatik tasarımın ağ diyagramında merkezi konumda olması bu dönemdeki araştırma çabalarının temel olarak tasarım süreçlerini otomatik hale getirmeyi amaçladığını göstermektedir.

1981-1990 yılları arasındaki dönemde temel terimlerden sonra en sık kullanılan anahtar kelime yapay zekadır. Yapay zekanın geçmişi 1943 yılına yani İkinci Dünya Savaşı'na kadar uzanmaktadır. Yapay zeka çalışmalarının odağında “mekanik robotların düşünebilmesi” yer almaktadır. Yapay zekanın babası olarak bilinen matematikçi Alan Mathison Turing, 1950 yılında “Mind” adlı felsefe dergisinde “Makineler düşünebilir mi?” sorusunu ortaya atarak tartışmayı başlatmıştır [46]. İkinci Dünya Savaşı'nda kriptograf (kod kırıcı) olarak çalışan Turing, Alman şifreleme sistemi olan Enigma'yı kırmıştır. Böylelikle günümüzdeki bilgisayarların temelini oluşturacak mantığı da geliştirmiştir. Turing makinelerin insana benzer düşüneceğini hatta insanı aşabileceğini de öngörerek yapay zekanın temellerini atmıştır [47].

Yaşamın birçok alanında kullanılan yapay zeka, gelişen teknolojiyle birlikte mimarlık alanında da aktif olarak yer almaktadır. Önceleri yapay zeka terimi insanların düşünme ve öğrenme sürecinin taklit edilmesiyle başlamışken daha sonra insanlar arası etkileşim kurma şekillerinin incelenmesiyle ilişkili olarak ele alınmış ve bu yaklaşımla birlikte mimarlık alanına “interaktif, enformasyonel, akıllı” gibi yeni sıfatlar gelmiştir. Bugün mimarlık alanında bilişim teknolojisi kullanımının artması ile yaygınlaşan akıllı yapı/mekan tasarlama anlayışı, yapay zekanın mimarlıkta kullanılmasının bir sonucudur [48]. 1981-1990 yılları arasında en sık kullanılan anahtar kelime arasında yer alan yapay zeka, sonraki yıllarda da etkisini devam ettirmiştir.

1981-1990 yılları arasındaki dönem için yapılan analizde kullanım sıklığı açısından bir diğer önemli anahtar kelime 1980'li yıllarda geliştirilmeye başlanan bilgi tabanlı (knowledge-based) sistemlerdir. Bilgi-tabanlı sistemlerde çeşitli bilgi temsili yöntemleri kullanılarak tasarım bilgisi yapı geometrisiyle bütünleştirilmeye çalışılmıştır [13]. Ancak bilgi-tabanlı sistemler mimarlık alanında mevcut çizim sistemleriyle birlikte çalışmadıkları ve ara yüzleri mimarların alışık oldukları formatlarda olmadığı için bu sistemlerin kullanımı uzun süre akademik çevrelerle sınırlı kalmıştır [49]. Bilgi-tabanlı sistemler, yapay zekanın tekniğini ve yöntemlerini temel almaktadır. Bilgi tabanlı sistemler sayısal tasarım alanında en çok kullanılan anahtar kelimeler arasında 2010'lara kadar ilk sıralarda yer almıştır. Bu terimle bağlantılı olarak 1981-1990 yılları arasında, mantıksal programlama (logic programming), uzman sistemler (expert systems), tasarım asistanı (design assistant) ve yapay zeka (artificial intelligence) terimleri de önem kazanmıştır.

Mimarlık terimi 1981-1990 yılları arasında ilk sırada yer alırken ilerleyen yıllarda arka sıralara düşmüştür. Nedeni ise sayısal tasarımın ortaya çıkışı mimarlık alanında bir gelişme olmasına rağmen ilerleyen dönemlerde mühendislik alanına doğru kaymasıdır. Sayısal tasarım disiplinler arası bir konudur. Özellikle 2010'dan sonra gelişen teknolojiyle birlikte mühendislik disiplininde konuyla ilgili daha fazla araştırma yapıldığı sonucuna ulaşılmaktadır.

1991-2000 yılları arasında yapı tasarımının işbirlikli bir süreç olmasının önem kazanmasına paralel olarak işbirlikli tasarım terimi sık kullanılan anahtar kelimelerden biri olmuştur. Bu yıllarda pek çok araştırma mimarlık uygulamaları ve eğitiminde işbirlikli tasarım konusuna eğilmiştir.

Yine bu dönemde önemli bir anahtar kelime olarak nesneye-yönelik (object-oriented) terimi ortaya çıkmıştır. 1990'ların başında çıkan nesneye-yönelik sistemlerin gelişmesi mimarlık alanında bir çığır açmıştır [13]. Mimarlıkta nesneye-yönelik sistemler bilgisayar programlarının içeriğini genişletmiş ve iki boyutlu olan plan, kesit gibi geleneksel temsil yöntemlerinin doğru ve kolay bir şekilde üç boyutlu modellemeye geçirilmesini sağlamıştır [13]. Nesneye-yönelik teriminin ortaya çıkışıyla birlikte modelleme, sanal gerçeklik, ürün modelleme ve görselleştirme terimleri de önem kazanmıştır. Bununla birlikte nesneye yönelik modelleme Succar'ın YBM'ye geçiş sürecinde ilk aşamada yer almaktadır [50]. Zaten 1991-2000 yılları arası henüz bu adla anılmayan yapı bilgi modellemesinin temellerinin atıldığı yıllar olmuştur. Bu yıllarda sık kullanılan anahtar kelimeler arasında yer alan ürün modeli (product model) terimi çoğunlukla bugün anladığımız anlamda tüm yapı profesyonellerinin ortak kullandığı bütünlük üç boyutlu modeli temsil etmektedir.

Yapı bilgi modellemesinin doğuşuyla birlikte, 1991-2000 yılları arasında nesneye-yönelik terimiyle birlikte işbirlikli tasarım ve entegrasyon terimleri de etkili olmuştur.

2001-2010 yılları arasında en çok kullanılan anahtar kelimelere bakıldığında temel terimlerden sonra dördüncü en sık kullanılan anahtar kelime olan Hesaplamalı Akışkanlar Dinamiğinin (CFD) önem kazandığı görülmektedir. İlk olarak 1991-2000 yılları arasında yapılan analizde görülen CFD, sonraki zaman aralıklarında önemini artırarak ilk sıralarda yerini almıştır. 2011-2020 yılları arasında bulunan makalelerde kullanılan anahtar kelimelerde ikinci sırada yer almaktadır. Genel anlamıyla CFD, akışkan davranışının sayısal yöntem ve algoritmalarla bilgisayar üzerinden çözümlenerek simüle edilmesidir. CFD, sayısal çözümlere ulaşmak için yüksek hızlı dijital bilgisayarlarda gerçekleştirilen bilgisayar programlarının veya yazılım paketlerinin kullanılmasını içeren sayısal simülasyonları kullanarak sıvı akışının incelenmesi anlamına gelir [51]. CFD bina performansının tahmin edilmesi ve değerlendirilmesinde önemli bir rol oynamaktadır. Bina performansı; yapısal kararlılık, akustik kalite, doğal aydınlatma, termal konfor ve havalandırma ve iç mekan hava kalitesi gibi alanlarda kullanılmaktadır. Akışkanlar mekaniği ve ısı transferinin farklı disiplinlerinden türetilen CFD, özellikle kimya, inşaat ve çevre mühendisliğinde yaygın olarak kullanılmaktadır. Hesaplamalı akışkanlar dinamiği bilgisayar bilimi, matematik ve akışkanlar mühendisliği disiplinleriyle bütünleşmiştir [51].

Mimarlıkta binaların iç ve dış cephelerindeki rüzgar yükü, ısıtma ve havalandırma konularında CFD uygulamaları kullanılmaktadır. Hava hareketinin dinamik özelliği nedeniyle bir binanın etrafındaki veya içindeki hava akışı modelini görselleştirmek için uygulanan yöntemlerden biri ölçekli bir modeli bir rüzgar tüneline yerleştirmek ve duman kullanarak desenleri gözlemlemektir. Bu yaklaşım, bir bina formu veya binanın kesit tasarımının bazı aerodinamik özelliklerini ortaya çıkarır, ancak erken tasarım aşamalarında önemli tasarım kararlarını gerçekleştirmek için maliyetli düşük ve uygun bir ortam sağlamaz [52]. Alternatif bir yaklaşım, gelişmiş hesaplama sistemlerine sahip hesaplamalı akışkan dinamiği sistemlerini kullanarak gerekli simülasyonu gerçekleştirmek ve sayısal sonuçları görsel temsile dönüştürmektir [52].

Sayısı giderek artan yüksek yapıların inşasında çevresel faktörlerin kontrolü hem zor hem de önemli olduğu için simülasyon gereklidir. CFD, rüzgar tüneli testinin yerine kullanılamazken literatürde CFD'nin yeteneği dahilinde tamamlayıcı bir araç olarak hareket etme potansiyeline sahip olduğunu gösteren sonuçlar vardır [53]. Böylelikle rüzgar tüneli testlerine alternatif olan CFD, son zamanlarda inşaat mühendisliği uygulamalarında ilgi görmektedir [54].

2001-2010 yılları arasındaki dönemde yapıların çevresel performanslarının simüle edilmesine olan ilginin artmasıyla birlikte CFD teriminin yanısıra, simülasyon, doğal havalandırma, gün ışığı, optimizasyon, termal konfor gibi terimler de en sık kullanılan anahtar kelimeler arasındaki yerlerini almışlardır. Yine bu yıllarda alt sıralardan da olsa yapı bilgi modellemesi terimi sık kullanılan anahtar kelimeler listesine girmiştir.

İlk defa listeye 2001-2010 yılları arasında giren yapı bilgi modellemesi terimi 2011-2020 yılları arasında sayısal tasarım araştırmalarında kullanılan en popüler anahtar kelime olmuştur. 1969-2020 yılları arasındaki tüm anahtar kelime analizinde de Yapı Bilgi Modelleme (BIM) terimi ilk sırada yerini almıştır. BIM, bir model üzerinde tüm sistemleri içeren, tüm proje katılımcılarının (işveren, mimarlar, mühendisler, taşeronlar ve tedarikçiler) geleneksel süreçlere kıyasla daha doğrudan ve verimli bir şekilde tasarım ve üretim süreçlerinde rol almalarını sağlayan bir proje yönetim aracıdır [55]. Getirdiği bütünleşik ve işbirlikli tasarım ve uygulama olanakları sebebiyle uluslararası bilimsel literatürde, yapı tasarımı ve üretiminde onun neden olduğu dönüşümü bir paradigma değişimi olarak nitelendiren çalışmalar bulunmaktadır [56]; [57]. BIM veri aktarımı, depolama ve veri alişverişini içeren farklı alanlarda etkili bir sistemdir.

Mimarlık alanında geliştirilen yazılımlar ve uygulamalar sayesinde BIM'in kullanım alanı yıldan yıla artmıştır. BIM'in mimarlıkla diğer disiplinlerin bir arada ve uyum içinde çalışmasına yönelik önemli katkıları olmuştur. Succar (2009) BIM'i incelemek için bir çerçeve hazırlamıştır. Bu çerçeve bütünde BIM ile tam bütünleşik tasarım ve üretim durumuna geçişi beş aşamalı bir süreç olarak ele almaktadır. Bunlar, BIM öncesi, 3B modelleme, işbirlikli çalışma, tam entegrasyon ve bütünleşik proje teslimi olarak sıralanabilmektedir [50]. İlk aşama olan BIM'in uygulanmasından önce mimarlık, mühendislik ve yapı endüstrisinde (AEC) elle ya da bilgisayar ortamında 2 ve 3 boyutlu çizimler kullanılmaktaydı. İkinci aşama olan modelleme nesne-tabanlı olarak gerçekteştirilmektedir. Üçüncü aşama, model-tabanlı olan birlikte çalışmadır. Ağ-tabanlı entegrasyon ise dördüncü aşamadır. Son aşama ise BIM uygulanmasının uzun vadeli hedefi olan bütünleşik proje teslimidir.

BIM teriminin yıllar içerisinde öneminin katlanarak artması ve tüm yıllardaki anahtar kelime analizinde ilk sırada yer almasının nedenlerinden biri disiplinler arası bir konu olması ve ortaya çıktıktan kısa bir süre sonra literatürde tek bir şekilde ifade edilmeye başlamasıdır. Ayrıca, BIM tasarım temsili, bilgi yönetimi ve bina simülasyonu gibi birçok alanda hakimiyet göstermekte ve kamu otoriteleri tarafından proje teslim formatı olarak dünya çapında kabul görmektedir.

BIM’le ilişkili terimler de buna paralel olarak artış göstermektedir. Buna verilecek ilk örnek Industry Foundation Classes (IFC) terimidir. IFC, tüm BIM yazılımlarının oluşturup okuyabildiği dosyadır. Her yazılımın oluşturduğu dosyaların kendine özgü bir formatı vardır. Farklı programların oluşturduğu dosyaların BIM uygulamalarında açılabilmesi için ara işlem uygulanıp IFC formatına (.ifc) dönüştürülmesi gerekir. BIM teriminin yükselişine paralel olarak IFC terimi de sık kullanılan anahtar kelimeler listesinde sürekli yükselmiştir.

2011-2020 arasındaki dönemde BIM’den sonra ikinci sıradaki anahtar kelime CFD’dir. CFD teriminin etkinliğinin artmasıyla beraber CFD ile ilişkili olan bazı terimlerin de kullanılma sıklığının artmış olduğu görülmektedir. Bu terimler: yüksek yapılar, ısı konforu, gün ışığı, sayısal simülasyon, doğal havalandırma, enerji tüketimi ve enerji verimliliğidir.

2011-2020 yılları arasında kullanılan anahtar kelimeler listesinde ilk sıralarda yer alan parametrik tasarım terimi önceki yıllardaki analizlerde yer almamaktadır. Son 10 yılda parametrik tasarım, mimarlık alanına oldukça hızlı bir şekilde adapte olmuştur. Mimarlar parametrik araçlardan ilham almaya ve onların getirdiği avantajlardan yararlanmaya başlamışlardır. Buna karşın, parametrik tasarım kavramı ile şu anda bilgisayar destekli taslak oluşturma veya modelleme olarak adlandırdığımız uygulamalar arasında net bir sınır yoktur [58]. Bu nedenle sayısal tasarım araştırmalarında parametrik tasarım teriminin kullanım alanı çok sınırlı kalmıştır [58].

Parametrik kelimesi etimolojik olarak incelendiğinde; parametrik, “bir sistemi tanımlayan kümelerden birini oluşturan sayısal veya diğer ölçülebilir bir faktör” ve “belirli bir sürecin kapsamını tanımlayan bir kısıt veya sınır” olarak tanımlanan parametrenin bir türevidir [59]. Parametrik tasarım düşüncesi aslında yeni olmayıp 1800’lü yıllara dayanmaktadır. Parametrik tasarımın mimarlık alanındaki geçmişine bakıldığında Antonio Gaudi’nin eserlerinde analog parametrik modellemeyi kullandığı görülmektedir [60].

Parametrik tasarım ile çok sayıda yapı tasarlamış bir mimar olan Zaha Hadid’in ortağı Patrick Schumacher, 2008 yılında “Parametricism as Style” başlıklı bir manifesto yayımlanmıştır [61]. Manifesto parametrik tasarımı mimarlığa yeni bir kavramsal çerçeve sağlayan ve yeni amaçlar, yöntemler ve değerler formüle eden bilimsel bir paradigma olarak tariflemiş ve parametrik tasarımın mimarlık tarihinde yeni bir stil oluşturduğunu iddia etmiştir. Avangart bir anlayışla binalarda etkisini gösteren parametrik tasarım, yıllar içerisinde pek çok kişi tarafından insan ve doğa ilişkisinden, insan ihtiyaçlarından, bağlamdan, tarihten ve çevreden kopuk olduğu gerekçesiyle eleştirilmiştir [62]; [63]. Belki de bu eleştirilerin sonucunda ve parametrik tasarımla ilgili mevcut tepkinin yayılmasını

önlemek adına Schumacher 2016 yılında “Parametricism 2.0” adlı güncellenmiş manifestoyu yayımlamıştır. Bu manifestoda yazar, parametrik tasarımın bilgi çağının ortaya çıkardığı yeni sosyal dinamikler tarafından mimariye getirilen yeni toplumsal görevleri yeterince ele alabilen tek çağdaş tarz olduğunu iddia etmiştir. Parametricism 2.0 ile parametrik tasarımın hesaplama çalışmalarına ve insan merkezli mimarinin hesaplanmasına odaklandığı vurgulanmıştır [64]. Bibliyometrik analiz sonuçlarının da gösterdiği üzere, mimarların tartıştığı anlamda parametrik tasarım mimari alanla sınırlı kalmış, diğer disiplinlerle olan bağına güçlendirememiştir.

BIM ve CFD gibi yıllar içinde önemi artan diğer bir anahtar kelime de sanal gerçeklik terimidir. Sanal gerçeklik kavramı 1991-2000 yılları arası yapılan analizde ilk defa görülmüştür. Sanal gerçeklik, çeşitli efektlerle gerçek dünyanın taklit edildiği sayısal ortamlar olarak tariflenebilir [65]. Sanal gerçekliğin geçmişi 1950'lere dayanmaktadır. Sinematograf Morton Leonard Heilig 1957 yılında Sensorama adını verdiği, insanın beş duyusuna da hitap eden bir simülatör geliştirmiştir [66]. Bu gelişmenin sonrasında Ivan Sutherland bugünkü sanal ve artırılmış gerçeklikte kullanılan ve başa takılan ilk görüntüleyiciyi icat etmiştir [67].

Sanal gerçeklik aynı zamanda tıp, mimarlık, mühendislik, eczacılık, ekonomi, arkeoloji ve birçok farklı disiplinde kullanılan bir simülasyon tekniğidir. Bu disiplinlerdeki olgular sanal gerçeklik sayesinde risksiz bir şekilde simüle edilebilmekte ve bu teknoloji karar mekanizmalarına faydalı olmaktadır. Mimarlıkta bu tekniğin kabul edilmesi diğer disiplinlere göre daha çok zaman almıştır. Çünkü mimarlıkta ihtiyaç duyulan hesaplama gücü ve ikna edici sanal gerçeklik sunumlarının üretilmesi için gereken bilgi birikimi oldukça pahalıdır [65]. Sanal gerçekliğin geçmişi 1950'lere uzanmasına rağmen mimarlıkta sanal gerçeklik kavramının ilk olarak ancak 1990'lı yıllarda karşımıza çıkmasının nedeni muhtemelen yukarıda belirtilmiş olan zorluklardır. 1990'lı yıllardan sonra sayısal tasarım alanında sanal gerçeklik artarak önem kazanmıştır. 2001-2010 ve 2011-2020 yılları arasında da önemini korumuştur.

Artırılmış gerçeklik ile sanal gerçeklik kavramları birbiriyle iç içe geçmesine rağmen temelde farklılıkları mevcuttur. Sanal gerçeklik tamamen sanal bir ortam üzerinden ilerlerken artırılmış gerçeklik sanal ortamda üretilen nesnelere gerçek ortamla bir bütün olarak ele alıp etkileşimli bir ortam yaratır. Artırılmış gerçeklik sanal unsurları gerçek fiziksel ortamla etkileşimli bir şekilde ele alır [68]. Artırılmış gerçeklik terimi yapılan analizlerde ilk defa 2001-2010 tarihleri arasında görülmüştür. Bu durumun nedeni, bu kavramın teknolojideki değişimlerin etkisiyle 2000'li yıllarda özellikle mobil platformlarda

yoğun olarak uygulanmaya başlanmasıdır. Artırılmış gerçeklik alanındaki gelişmeler bilgisayarın, internetin, mobil ve kablosuz ağ teknolojilerinin gelişmesiyle hız kazanmıştır. Bunun sonucunda 2011-2020 yılları arasında yapılan anahtar kelime analizindeki yeri ve önemi de artmaktadır.

Sanal gerçeklik ve artırılmış gerçekliğin mimarideki yerine bakıldığında tüm bu gelişmelere paralel olarak mimarlık alanında da öneminin arttığı görülmektedir. Bir yapı inşa edilmeden önce hatalarını görmek ve yapıyı test etmek için yapılan modellemelerin öneminin artmasıyla birlikte sanal gerçeklik ve artırılmış gerçeklik alanlarının da popülaritesi artmıştır. Böylelikle yapı inşa edilmeden önce fark edilen hatalar maliyeti de olumlu yönde etkilemiştir.

Yapılan analizlerde aynı anlama gelen bazı anahtar kelimelerin yıllar içerisinde kaybolduğu veya değişime uğradığı görülmektedir. Bunlardan biri “pareto optimization” terimidir. 1981-1990 yılları arasında yapılan anahtar kelime analizine göre “pareto optimization” terimi çok amaçlı optimizasyon (en iyileme) anlamına gelmektedir. Sonraki yıllarda bu terim kaybolmuş yerine “multi-objective optimization” terimi gelmiştir. Çok amaçlı optimizasyon, performans kriterinde birden fazla amacın sistematik ve eş zamanlı olarak optimize edilmesidir [69]. Mimarlık alanında çok amaçlı optimizasyon yöntemiyle gün ışığı, enerji ve maliyet gibi performans kriterleri dikkate alınarak tasarım modelleri geliştirmek mümkündür. 2011-2020 yılları arasındaki bulgulara bakıldığında çok amaçlı optimizasyon terimi birçok farklı alana özelleşmiştir. Ortaya çıkan terimler şunlardır: tasarım, enerji, topoloji, algoritma, simülasyon temelli, enerji ve yapısal optimizasyonlar. Bu durumda optimizasyon kavramının da aslında yıllar içinde önemini koruduğu ve farklı başlıklar altında karşımıza çıktığı söylenebilir.

## **5.2. Konuyla İlgili En Fazla Makale Yazan Yazarlar**

1969-1980 yılları arasında en fazla makale yazıp, en üretken olan yazarlar listesinde başı Gero ve Eastman çekmektedir. Bilgisayar bilimi ve mimarlıkta profesör olan Gero'nun araştırma alanları: tasarım araştırması, tasarım bilişi ve nöro-biliş, bilgisayar destekli tasarım, tasarımda yapay zeka ve teknoloji politikasıdır. Eastman ise mimarlık, mühendislik ve inşaat alanlarında bilgisayar destekli tasarımın (CAD) öncüsü olup, 1970'lerin ortalarından itibaren 3 boyutlu ve parametrik modelleme sistemleri geliştirmektedir. Bu bilgilere paralel olarak 1969-1980 yılları arasında yapılan analizde CAD, bilgisayar grafikleri, robot ve veri yapısı terimleri yer almaktadır. Eastman 1969 yılında tasarım bilişi



(design cognition) alanında ilk makale olarak kabul edilen “Cognitive processes and ill-defined problems: A case study from design” adlı makaleyi yayınlamıştır.

1981-1990 yılları arasında bilgisayar destekli tasarım çalışmaları birçok farklı disiplinin katkısıyla devam etmektedir. Başlı çeken yazarların içerisinde Gero, Fazio, Gowri ve Fenves bulunmaktadır. 1980’li yıllarda geliştirilmeye başlanan bilgi-tabanlı sistemler Fenves’in çalışmalarına da yansımaktadır.

1991-2000 yılları arasında en fazla makale yazan yazarlar listesinin ilk sıralarına yeni isimler katılmıştır. Mimarlık bölümünde profesör olan Shih, bilgisayar destekli mimari tasarım, dijital sunum, görselleştirme ve 3 boyutlu tarama alanlarında çalışmaktadır. 1990’lı yıllarda artan sanal gerçeklik çalışmalarıyla birlikte bu konuyla ilgili yazılar da artmıştır. Aynı zaman diliminde nesneye yönelik çalışmaların artmasıyla birlikte bu alanda çalışan Flemming en fazla yazan yazarlar arasında ön sıralarda yer almaktadır. Mahdavi ise yapı fiziği, yapıların termal, görsel ve akustik performansı, enerji tasarruflu bina tasarımı ve bina bina performans alanlarında çalışmalarını yürütmüştür. Yazarın çalışma alanları aynı yıllarda popüler olan yapı tasarımı, analiz, gün ışığı, enerji simülasyonu ve enerji tasarrufu anahtar kelimeleriyle paralellik göstermektedir. Yine bu dönemde alanında önemli bir yere sahip ACADIA’nın kurucu üyelerinden Kalay listeye girmiştir. Kalay’ın araştırma alanı dijital ve ortak çalışmaya dayalı tasarımıdır. Alandaki önemli isimlerden Gero ve Eastman önceki yıllara göre listede düşüş yaşamışlardır.

2001-2010 yılları arasında listeye birçok farklı yazar katılmıştır. Nedeni ise alanla ilgili yaşanan gelişmeler ve yeni ortaya çıkan araştırma alanlarıdır. Bu dönemde yapı bilgi modelleme (BIM) ve hesaplamalı akışkanlar dinamiği (CFD) terimleri daha çok ön plana çıkmıştır. Bununla birlikte bina performansı ve enerji tasarrufu konularında çalışan Mahdavi en üretken yazarlar sıralamasında ilk sırada yer almaktadır. Li ve Wang, Mahdavi’yi takip etmektedir. Yapı-çevre hizmetleri mühendisi Li enerji ve çevre alanında özelleşmiştir. Wang’ın çalışma alanı ise BIM, inşaatla bilgi teknolojisi, sanal, artırılmış ve karma gerçeklik, bilgisayar destekli işbirlikli tasarım ve bilgisayar destekli tasarımıdır. Alanın öncülerinden Gero listeye sondan girebilmiştir. Sayısal tasarım araştırmalarının artmasıyla alanla ilgili yeni araştırmacılar ortaya çıkmıştır. Bununla birlikte alanın çıkışında etkili olan yazarların alandaki etkisi ilerleyen yıllarda azalmıştır.

2011-2020 yılları arasındaki bulgulara bakıldığında Yapı Bilişimi alanında profesör olan Heng Li ilk sırada yer almaktadır. Li’nin araştırma alanı; dijital ve akıllı yapı, yapı bilgi teknolojileri, inşaat yönetimi ve inşaat teknolojileridir. Ayrıca Li mühendislik tasarımı alanında da çalışmıştır. Önceki listede de başlı çeken Wang bu zaman aralığında da en

üretken yazar sıralamasında önlere bulunmaktadır. Listeye yeni giren Cheng'in araştırma alanı; yapı bilgi modelleme (BIM), yeşil binalar, nesnelerin interneti (Iot), sürdürülebilir binalar ve yapı mühendisliğidir. İnşaat mühendisliği alanında profesör olan Becerik-Gerber ise 6 makaleyle listede önemli bir yere sahiptir. Becerik-Gerber binalar ve kullanıcıları arasındaki ara yüzlere odaklanan teknolojinin tasarımını ve kullanımını araştıran ve öncülüğünü yaptığı yeni bir alan olan insan-bina etkileşimi hakkındaki çalışmaları ile tanınmaktadır. Sayısal tasarım araştırmalarının öncülerinden Gero listede yer almazken, Eastman ve Menges gibi önemli isimler son sıralardan listeye girebilmişlerdir.

Genel olarak yıllara göre yazar üretkenliklerine bakıldığında alanın ortaya çıkışında ve gelişmesinde etkili olan yazarların çalışma alanlarının mimarlıktan mühendisliğe doğru yöneldiği söylenebilmektedir.

### **5.3. Konuyla İlgili En Fazla Atıf Alan Yazarlar**

1969-1980 yılları arasında en fazla atıf alan yazarlar listesinde, yine aynı zaman diliminde en fazla makalesi olan Gero, ilk sırada yer almaktadır. Gero'yu Antony Radford takip etmektedir. Radford çalışma alanını mimarlık, kentsel tasarım ve sayısal tasarım olarak 3 temel konu üzerine oturtmuştur. Bunun dışında sürdürülebilirlik ve enerji kullanımıyla ilgili makaleleri de mevcuttur. Yazarın erken çalışmalarında ise kentsel tasarım desenleri, çok-kriterli optimizasyon ve bilgi tabanlı tasarım yer almaktadır. Sayısal ve bilgisayar destekli tasarım alanlarında da araştırmaları olan yazarın, sayısal tasarım alanında önemli yayınları bulunmaktadır. Hesaplamalı tasarımın öncülerinden olan Eastman listeye üçüncü sırada girmiştir. Eastman'ı sayısal tasarım alanındaki diğer önemli isimlerden biri olan Thomas Watt Maver takip etmektedir. eCAADe ve CAADFutures'ın kurucu üyesi olan Maver 1970'li yıllarda teknoloji henüz başlangıç aşamasındayken Strathclyde Üniversitesi Mimarlık ve Yapı Bilimleri Bölümü bünyesinde bir araştırma grubu olan ABACUS'ü (Architecture and Building Aids Computer Unit, Strathclyde) kurmuştur. Mackintosh School of Architecture'da Profesör olan Maver Strathclyde Üniversitesi Mimarlık Bölümünde de onursal profesördür. 1960'ların ortalarında binaların geometrisi ve inşasının; bina maliyetini, ısı, ışık ve ses gibi enerji performanslarını, yaya hareketindeki verimliliğini, acil durum tahliyelerini ve performanslarını nasıl etkileyebileceğini tahmin etmek için bir bilgisayar yazılımı geliştirmek için çalışmıştır [70]. Maver'in araştırma alanı: tasarım teorisi ve yöntemleri, tasarımda kullanıcı katılımı, bilgisayar destekli mimari tasarım, büyük ölçekli

kentsel veri tabanları, çağdaş ve tarihi binalar hakkında çoklu ortam belgeleri, sanal gerçeklik ve sanal ortamlar, hızlı sayısal üretim, tasarım eğitimi ve enerji verimli tasarımıdır.

1981-1990 yılları arasında en fazla atıfa sahip yazarlar listesine yeni yazarlar katılmıştır. Carnegie Mellon Üniversitesi İnşaat ve Çevre Mühendisliği Bölümünde onursal profesör olan Steven J. Fenves listede ilk sırada yer almaktadır. Fenves aynı zaman aralığında en fazla makale yazan yazarlar sıralamasında da ilk sırada yer almıştır. En erken yapısal analiz sistemlerinden biri olan STRESS'in (Structural Engineering Systems Solver) geliştiricilerinden olan Fenves'in çalışma alanları: bilgisayar destekli mühendislik, mühendislik veri tabanları, bilgi tabanlı sistemler, makine öğrenimi ve kapsamlı tasarım ortamlarıdır. Chris Hendrickson 70 atıfla listede ikinci sırada yer almaktadır. Hamerschlag Üniversitesi İnşaat ve Çevre Mühendisliği Bölümünde onursal profesör, National Academy of Engineering üyesi, ASCE Journal of Transportation Engineering baş editörü ve Carnegie Mellon Üniversitesinde Traffic 21 Institute'de direktör olan Hendrickson'ın çalışma alanı mühendislik planlama ve yönetimi, bilgisayar destekli mühendislik, inşaat proje yönetimi, finans ve bilgisayar uygulamaları, çevre tasarımı ve sistem performansdır [71]. Traffic 21 Carnegie Mellon Üniversitesi'nin çok disiplinli bir araştırma enstitüsüdür. Enstitünün amacı Pittsburgh bölgesinin ulaşım sisteminin karşılaştığı sorunları ele almak, değerlendirmek ve çözmektir. Carnegie Mellon Üniversitesi bünyesindeki bu enstitüde akıllı ulaşım sistemleri, akıllı altyapı, siber güvenlik, insan faktörleri, yapay zeka, veri analizi ve bağlantılı ve otomatik araçlar konularında çalışılmaktadır. Hendrickson, Carnegie Mellon Üniversitesindeki Engineering Design Research Center'daki grupla birlikte 1990'ların başında inşaat planlama ve animasyon yoluyla öncü ve deneysel bir bina tasarım sistemi geliştirmiştir [72]. Listedeki 3. sırayı University of North Carolina at Charlotte'da bilgisayar bilimi ve mimarlıkta profesör olan Gero almaktadır. Gero'dan sonra ise sıralamada Krishnan Gowri yer almaktadır. Gowri, Concordia Üniversitesi Yapı Çalışmaları Merkezinden Yapı Mühendisliği alanında yüksek lisans ve doktora dereceleri ile mezun olmuştur. Autodesk'te çalışmaya başlamadan önce aynı üniversitede Bina Enerji Kodları yazılım geliştirme ekibini yönetmiştir. Gowri yapı bilimi, enerji simülasyonu ve yazılım geliştirme alanlarında çalışmıştır.

1991-2000 yılları arasında en fazla atıf alan yazarlara bakıldığında ilk sırada Gero yer almaktadır. İkinci sırada listeye yeni katılan isimlerden Joseph Choi Lam yer almaktadır. Lam, Melbourne Üniversitesi Mimarlık ve İnşaat Bölümünde ders vermeden önce Londra'da Ove Arup & Partners'da mühendis olarak çalışmıştır. Şu an City University of Hong Kong Mimarlık ve İnşaat Mühendisliği bölümünde doçent unvanı ile görev

yapmaktadır. Çalışma alanları: bina tesisleri mühendisliği, binalar ve enerji olup verdiği dersler; çevre bilimleri ve yapı mühendisleri için termal mühendisliktir. Listede Lam' i Mark D. Gross takip etmektedir. Öğrenciyken MIT'nin Mimarlık Makine Grubu'nda (Architecture Machine Group) çalışan Gross daha sonra Carnegie Mellon Üniversitesi Mimarlık Bölümü'nde Hesaplmalı Tasarım profesörü olarak da çalışmıştır. Şu an University of Colorado'da bilgisayar bilimi alanında profesördür. Gross'un çalışma alanları: somut etkileşim tasarımı, hesaplama, insan-bilgisayar etkileşimi, akıllı bilgisayar destekli tasarım, sanal ortamlar ve tasarım simülasyonu, modüler robotik ve hesaplmalı olarak geliştirilmiş inşaat kitleri ve sayısal imalattır. Bir diğer önemli isim olan Ulrich Flemming ise Carnegie Mellon Üniversitesi Mimarlık Bölümünde onursal profesördür. Flemming üretken tasarım sistemleri ve mimari tasarımda biçim gramerleri uygulamaları, bütünleşik tasarım sistemleri, bilgi ve vaka tabanlı tasarım, tasarım veri tabanları, tasarımda sistem arayüzleri ve insan-bilgisayar etkileşimleri alanlarında çalışmalarını yürütmüştür.

2001-2010 yılları arasındaki listeye birçok farklı isim katılmıştır. Technion-Israel Institute of Technology İnşaat ve Çevre Mühendisliği Bölümünde Profesör olan Rafael Sacks bu dönemde en üretken yazarlar arasında ilk sıradadır. Sacks'ın araştırma alanları: Yapı Bilgi Modelleme (BIM) ve yapı yönetimidir. 2000'li yıllarda etkisini göstermeye başlayan ve sonraki yıllarda etkisini artırarak sürdüren BIM terimi o yıllarda alana etkisi en yüksek olan yazarın ilgi alanlarında yer almaktadır. Technion Üniversitesi'nin Ulusal Yapı Araştırma Enstitüsünde BIM ve Sanal İnşaat Laboratuvarlarını kurmuştur. Burada birçok konu üzerine çalışmalar gerçekleştirilmektedir. Bunlar: lazer taraması yapılarak hasarlı binaların BIM ile modellenip yeniden inşa edilmesi, deprem arama ve kurtarma için BIM sisteminin kullanılması, BIM'de bütünleşik çalışabilmek için getirilen yenilikçi yaklaşımlar ve sanal inşaat modelleri kullanılarak üretilen güvenli tasarımlardır. Listede ikinci sırada yer alan Liping Wang University of Wyoming Mimarlık ve İnşaat Mühendisliği Bölümünde profesördür. Wang'ın ilgi alanları: bina performansı için simülasyon modelleme, HVAC (Heating, Ventilating and Air Conditioning) sistemleri için otomatik arıza tespiti, HVAC kontrol sistemi değerlendirmesi ve optimizasyonu, düşük/sıfır enerjili bina tasarımı, hesaplmalı hava akış modellemesi, mekan içi hava kalitesi, bina performansı ve sistem bütünlüğüdür. 2001-2010 yılları arasındaki anahtar kelimelere bakıldığında ortaya çıkan anahtar kelimelerle yazarların araştırma alanları paralellik göstermektedir. Bu anahtar kelimeler: BIM, simülasyon, modelleme, termal konfor, doğal havalandırma ve CFD'dir. 2001'den 2010'a kadarki zaman diliminde en fazla atıf alan yazarlar sıralamasında önceki

yıllarda etkililiği yüksek olan yazarlardan Gero, Eastman ve Mahdavi alt sıralarda yer almaktadır.

2011-2020 yılları arasında en fazla atıfa sahip olan yazarlar listesi de bir önceki zaman dilimlerine göre farklılık göstermektedir ve listede başı çeken yazarlar farklıdır. İlk sırada yer alan Profesör Xiangyu Wang BIM, altyapı, inşaat ve proje yönetimi, inşaatta bilgi teknolojisi, sanal, artırılmış ve karma gerçeklik, bilgisayar destekli iş birlikçi tasarım, elektronik öğrenme, akıllı şehirler, hesaplamalı yöntemler konularında uzmanlaşmıştır. Sonrasında Hong Kong University of Science and Technology İnşaat ve Çevre Mühendisliği Bölümünden Profesör Jack Chin Pang Cheng gelmektedir. Cheng'in araştırma alanları: BIM, yeşil binalar, nesnelerin interneti (IoT), sürdürülebilir yapı ve inşaat tekniğidir. Listede bir diğer önemli isim ise University of Illinois at Urbana-Champaign İnşaat Mühendisliği, Bilgisayar Bilimi ve Teknolojisi Bölümü'nde görev alan Dr. Mani Golparvar Fard'dır. Golparvar'ın araştırma alanları: yapıyı çevrede yapım ve operasyonun izlenmesi için bilgisayar görüntüsü ve makine öğrenimi, inşaat mühendisliği ve yönetimi, sürdürülebilir ve dayanıklı altyapı sistemleridir. Bununla birlikte Golparvar, alanında başarılı olan ASCE Journal of Computing in Civil Engineering, ASCE Journal of Construction Engineering and Management ve Automation in Construction dergilerinin yayın kurulunda görev yapmaktadır. Listede dördüncü sırada yer alan ve önemli atıf sayısına sahip olan bir diğer yazar Liam (William) O'Brien'dır. O'Brien Carleton University Mimari Koruma ve Sürdürülebilir Mühendislik Bölümünde doçent ve İnsan-Bina Etkileşimi Laboratuvarında baş danışmandır. İnsan-Bina Etkileşimi (HBI) Laboratuvarı inşaat, makine, elektrik mühendisliği, mimarlık ve psikoloji alanlarında uzman olan 10 araştırmacıdan oluşmaktadır. O'Brien HBI Laboratuvarında kullanıcı davranışını anlama, modelleme ve tasarım konusunda çalışmakta ve yüksek performanslı güneş enerjili binalar için tasarım süreçlerini ve enerji simülasyonunu araştırmaktadır. O'Brien yapı simülasyonu, kullanıcı davranışı, iç mekan kalitesi ve yapı denetimi konularında çalışmalarını sürdürmektedir.

#### **5.4. Konuyla İlgili En Fazla Yayın Yapan Üniversiteler ve Kurumlar**

Çalışmada sayısal tasarım alanında en fazla makale yayımlayan üniversite ve kurumlar analiz edilip üretkenlikleri ele alınmıştır. 1969-1980 yılları arasında en fazla yayın yapan üniversite ve kurum sıralamasında University of Strathclyde başı çekmektedir. University of Strathclyde Mimarlık ve Yapı Bilimleri Bölümünde yer alan Mimarlık ve Yapı Yardımcıları Bilgisayar Biriminde Maver öncülüğünde kurulan ABACUS (Architecture and Building

Aids Computer Unit, Strathclyde), bilgisayarların mimaride ve bina tasarımında etkili bir şekilde kullanılmasını teşvik etmek amacıyla kurulmuş bir araştırma grubudur. İkinci sırada olan üniversite ve kurumlar ise şunlardır; University of Sydney, CSIRO Division of Building Research, University of Liverpool ve Carnegie Mellon. University of Sydney’de sayısal tasarımla ilgili birçok araştırma grubu vardır. Örneğin, Computation and Construction in Architecture (CoCoA) grubu mimarlık teknolojisini kullanarak yenilikçi çözümler üreten ve araştırmalar yapan bir topluluktur. Araştırma grubunun çalışma alanları: yapı performansı ve sürdürülebilirlik, ahşap yapı ve cephe teknolojileri, karma gerçeklik ve dijital eserler, hesaplamalı yapı ve mimari robotiktir. Bir diğer araştırma grubu ise 1968’de Gero öncülüğünde kurulan, hesaplamalı tasarım ve bilişim merkezi olan University of Sydney Bilgisayar Uygulamaları Araştırma Birimi (Computer Applications Research Unit) üniversitenin Mimarlık, Tasarım ve Planlama Bölümünün öğretim ve araştırma birimidir. Kurulduğundan bu yana adı birkaç kez değişmiştir. Şu an Tasarım Laboratuvarı (Design Lab) adı altında çalışmalar sürdürülmektedir. Gero tarafından tasarım hesaplaması konularını araştırmak üzere kurulmuştur. Tasarım Laboratuvarının amacı insan merkezli tasarımı ürün, hizmet ve sistemlere uygulamaktır. Listede yer alanlar içerisinde en fazla yayın yapan kurum ise CSIRO Division of Building Research topluluğudur. Yenilikçi bilim ve teknolojiyi kullanarak birçok konuyu çözmeyi hedefleyen kurumun çalışma alanı oldukça geniştir ve şöyle sıralanabilir: hayvanlar ve bitkiler, kontrol edilemeyen yangın, yapay zeka, iklim, kuraklığa dayanıklılık, çevre, tarım ve gıda üretimi, sağlık, bilgi teknolojisi, madencilik ve üretim, yenilenebilir enerji, astronomi ve uzay. Carnegie Mellon University de sayısal tasarım alanında önemli üniversitelerden biridir. Alanda öne çıkmış ve üretken olan yazarlardan Fenves, Hendrickson, Grossi ve Flemming Carnegie Mellon University’de çalışmıştır. Üniversite bünyesinde nitelikli araştırma merkezleri ve enstitüler vardır. Hendrickson’ın öncü olarak içinde bulunduğu Green Design Institute (GDI) ve Traffic 21 Institute bu enstitü ve merkezlerin birkaçıdır. Carnegie Mellon Üniversitesinde sayısal tasarımla ilgili çalışmalar mühendislik başta olmak üzere diğer disiplinleri de kapsamaktadır.

1981-1990 yılları arasında en fazla üretken olan üniversiteler 7 yayınlı Carnegie Mellon University ve Concordia University’dir. Ove Arup & Partners en üretken kurum listesine sondan girmiştir. 2001-2010 yılları arasında en fazla atıf alan yazarlar listesinde başlarda yer alan Profesör Andreas K. Athienitis Concordia University Yapı, İnşaat ve Çevre Mühendisliği Bölümünde çalışmalarını sürdürmektedir. Araştırma uzmanlığı güneş enerjisi mühendisliği, enerji verimliliği, bina termal sistemlerinin optimizasyonu ve kontrolü,

entegre fotovoltaik bina ve gün ışığı aydınlatması üzerinedir. Ove Arup & Partners Birleşik Krallık merkezli bir mimarlık ve mühendislik hizmetleri şirkettir. Şirket çeşitli alanlar üzerine yoğunlaşmakta olup sayısal tasarım alanında da çalışmaları bulunmaktadır. Şirketin dijital başlığı altında birçok konuyla ilgili çalışmaları bulunmaktadır. Öncelikle şirket sayısal teknolojilerin yapılı çevrenin her yönünü oluşturduğu fikrini benimsemektedir. Tasarımdan uygulamaya kadar olan tüm sürece yapay zeka ve artırılmış gerçeklik gibi yeni teknolojileri entegre etmektedirler. Dijital olarak çalıştıkları alanın altında BIM, Coğrafi Bilgi Sistemleri, veri kavrama ve analizi, yazılım ürünleri, altyapı tasarımı ve görselleştirme konuları yer almaktadır.

1991-2000 yılları arasında en fazla yayın yapan üniversite Carnegie Mellon University'dir. 1991-2000 yılları arasındaki yazarlara bakıldığında aynı üniversitede çalışan Flemming'in atıf sayısı oldukça fazladır. Sonrasında sırayı Technion-Israel Institute of Technology takip etmektedir. Sayısal tasarım alanında başarılı olan Sacks üniversitede çalışmalarını sürdürmektedir. Alanla ilgili yapılan çalışmalar üniversitedeki Mimarlık ve Kentsel Tasarım Bölümüne oranla İnşaat ve Çevre Mühendisliği Bölümünden daha fazla çıkmıştır. University of California listede üçüncü sırada yer almaktadır. Üniversitede oldukça fazla araştırma birimi bulunmakla birlikte sayısal tasarımla ilgili olan araştırma birimi Simons Institute for the Theory of Computing, mühendislik ve teknoloji başlığı altında yer almaktadır. Enstitüde hesaplamanın doğası ve sınırları hakkında araştırmalar yapılmaktadır.

2001-2010 yılları arasına bakıldığında City University of Hong Kong listede ilk sırada yer almaktadır. Listeye yeni katılan üniversitenin araştırma alanları yapı bilişimi ve akıllı şehirler, yangın güvenliği ile afet önleme ve inşaat uyumsuzluğu çözüm birimidir. İkinci sırada olan üniversite, önceki yıllarda da listenin başında yer alan ve sayısal tasarım alanında üretken bir üniversite olan Carnegie Mellon University'dir. Üçüncü sırada National University of Singapore ve Technion-Israel Institute of Technology yer almaktadır. National University of Singapore'da Hesaplama Fakültesi altında bilgisayar bilimi ile bilgi sistemleri ve analizleri olmak üzere 2 araştırma alanı vardır. Bu alanlar da alt kollara ayrılmakta ve araştırma alanları çeşitlenmektedir. Bilgisayar biliminin altında algoritma ve kuram, veri tabanı, güvenlik, yapay zeka, medya, sistem ve ağ oluşturma, hesaplamalı biyoloji, programlama dili ve mühendislik yazılımı konuları bulunmaktadır. Bilgi sistemleri ve analizleri alanındaki alt başlıklar ise şunlardır: sayısal dönüşüm ve yenilik, veri bilimi, hesaplamalı sosyal bilim ve akıllı sistemler. Üniversitedeki Tasarım ve Çevre Fakültesinde yer alan Mimarlık Bölümü ve Yapı Bölümü BIM, yapı enerji performansı ve

sürdürülebilirlik, yapı teknolojileri ve kentsel planlama alanlarında çalışmalar yapmaktadır. Technion-Israel Institute of Technology Üniversitesinde profesör olan Rafael Sacks aynı zaman diliminde en fazla atıf alan yazardır. Technion Üniversitesinin Ulusal Yapı Araştırma Enstitüsü'nde BIM ve Sanal İnşaat Laboratuvarları Sacks tarafından kurulmuştur. Laboratuvarda birçok farklı konu üzerinde araştırmalar yapılmaktadır. Yapılan araştırmalar BIM merkezlidir. Laboratuvar BIM ile bütünleşik çalışabilmek için yenilikçi yaklaşımlar getirilmekte ve sanal inşaat modelleri kullanılarak tasarımlar üretilmektedir.

2011-2020 yılları arasında en fazla yayına sahip üniversite Hong Kong Polytechnic University'dir. Aynı zaman aralığında en fazla makale yazan yazarlar listesinde başı çekmekte olan Prof. Heng Li, Hong Kong Polytechnic University'de çalışmalarını sürdürmektedir. İkinci sırada olan Tongji University bünyesinde Mimari Tasarım ve Araştırma Enstitüsü kurulmuştur. Üniversitede sayısal tasarımla ilgili sadece mimarlık bölümünde değil inşaat mühendisliği ve geoteknik mühendisliği bölümlerinde de hatırı sayılır bir şekilde makale yazılmıştır. Üniversiteyi Delft University of Technology takip etmektedir. Üniversitenin Mimarlık ve Yapılı Çevre Fakültesine bağlı Mimarlıkta Hesaplama (Computation in Architecture) Bölümü yapı sektöründe bütünleştirici hesaplama yöntemlerini etkinleştirmek için BIM'in uygulamalarına odaklanmaktadır. Bölümün araştırma konuları: BIM verilerinin sonraki boyutlarını tanımlama, eş zamanlı BIM, tasarım ve inşaatta güven zincirleri, biyoteknik binalar, yapı rehberliğinde yapay zeka, tasarımda makine öğrenimi ve biyolojik binalara yönelik hesaplamalı biyolojidir. Mimarlıkta hesaplama bölümünün amacı BIM'le ilgili kuram ve uygulamadan elde edilen bütünleşik hesaplama yöntemleriyle insanlar ve kurumlar arasındaki engelleri kaldırmak ve zorlukları azaltmaktır.

### **5.5. Konuyla İlgili En Fazla Atıf Alan Üniversiteler ve Kurumlar**

Üniversite ve kurumların etkilerine bakıldığında 1969-1980 yılları arasında University of Sheffield ilk sıradadır. Üniversitede kurulan Centre for Energy, Environment and Sustainability Araştırma Merkezinde enerji, çevre ve sürdürülebilirlik konularında çalışmalar yürütülmektedir. Araştırma Merkezinin araştırma konuları şunlardır: sürdürülebilirlik, iklim değişikliği ve çevre, enerji ve düşük karbonlu gelecek için yönetim, politika ve düzenleme, düşük karbonlu yapı ve inşaat ile enerji verimliliğidir. Sonrasında University of Strathclyde gelmektedir. Sayısal tasarım alanında önemli bir isim olan Tom Maver'in öncülüğünde kurulan ABACUS (Architecture and Building Aids Computer Unit,



Strathclyde) University of Strathclyde Mimarlık ve Yapı Bilimleri Bölümünde yer almaktadır. Bilgisayarların mimari ve bina tasarımında etkili bir şekilde kullanılmasını teşvik etmek amacıyla kurulmuş bir araştırma grubudur. Listede üçüncü sırada yer alan Carnegie Mellon University sayısal tasarım alanında öncü üniversitelerden biridir. Konuyla ilgili önemli yazarlardan Fenves, Hendrickson, Gross ve Flemming bu üniversitede çalışmalarını yapmışlardır. Bununla birlikte sayısal tasarımla ilgili birçok önemli topluluk üniversite bünyesinde kurulmuştur. Bunlardan bazıları şunlardır: Traffic 21 Institute, Engineering Design Research Center. Sonrasında Ove Arup & Partners mimarlık ve mühendislik hizmetleri veren kurum listedeki yerini almıştır. BIM, Coğrafi Bilgi Sistemleri, veri kavrama ve analizi, yazılım ürünleri, altyapı tasarımı ve görselleştirme konularında çalışan şirket sayısal tasarım alanında önemli yere sahiptir. Listede bulunan, sayısal tasarım alanında öncü olan üniversitelerden biri de University of Sydney'dir. Computation and Construction in Architecture (CoCoA) araştırma merkezi ve 1968 yılında Gero öncülüğünde kurulan Bilgisayar Uygulamaları Araştırma Birimi (Computer Applications Research Unit) üniversitenin Mimarlık, Tasarım ve Planlama Bölümünün öğretim ve araştırma birimleridir.

Carnegie Mellon University 1981-1990 yılları arasında en fazla atıf alan üniversite ve kurumlar sıralamasında ilk sırada yer almaktadır. University of Illinois at Urbana-Champaign ise listede ikinci sıradadır. University of Illinois at Urbana-Champaign İnşaat ve Çevre Mühendisliği Bölümünde 2011-2020 yılları arasında en fazla atıfa sahip olan yazarlar listesinde yer alan Golparvar'ın liderliğinde Institute for Artificial Intelligence in Construction Planned kurulmuştur. Proje lideri Golparvar kurulan enstitü için şunları söylemiştir: "Urbana-Champaign'deki Illinois Üniversitesi'ndeki bu girişim, yapay zekanın bina ve altyapı sistemlerinin tasarımı, inşası ve işletilmesi uygulamasına yönelik ilk örnek olacaktır." [73].

1991-2000 yılları arasındaki en fazla atıf alan üniversite ve kurum analizinde Carnegie Mellon University önceki yıllarda olduğu gibi yine başı çekmektedir. Sayısal tasarım alanındaki etkinliğini artırarak atıf sayısını artırmıştır. Building Energy Research Group (BERG) listede ikinci sırada yer almaktadır. Araştırma grubunun amacı, yapılı çevrenin kalitesini artırmak için sürdürülebilir bina ve mühendislik uygulamalarını geliştirmektir. Sürdürülebilir yapı mühendisliği, enerji verimliliği ve simülasyon araştırma konularındandır. Listede sonrasında Technion-Israel Institute of Technology Üniversitesi gelmektedir. Üniversitede Rafael Sacks tarafından kurulan Ulusal Yapı Araştırma Enstitüsü'nde BIM ve Sanal İnşaat Laboratuvarları çalışmalarına devam etmektedir.

2001-2010 yılları arasındaki atıf sıralamasına bakıldığında ilk sıralarda yer alan üniversitelerin ve kurumların değiştiği görülmektedir. Teagasc Agricultural Research Center listede ilk sırada yer almaktadır. Araştırma merkezinin birçok çalışma alanı vardır. Araştırma merkezinde peyzaj, arkeoloji, duyuşsal bilim, yapı mirası, geleneksel yapı ve özellikleri, iklim değışikliği, mekânsal analiz ile sera gazı ölçümü ve modellemesi konularında araştırmalar yapılmaktadır. Sonrasında IEEE (The Institute of Electrical and Electronics Engineers) gelmektedir. Teknik bir organizasyon olan kurumun çalışma alanları; elektrik, elektronik, bilgisayar, otomasyon, telekomünikasyon, mühendislik teori ve uygulamalarının gelişimidir. Listeye üçüncü sıradan giren American Society of Civil Engineers (ASCE) en eski mühendislik topluluğudur. Mimari mühendislik, yapı, mekanik mimari, çevresel ve su kaynakları, yapısal mühendislik, ulaşım ve kalkınma ile jeoteknik mühendisliği gibi farklı disiplinlerden oluşan çalışma alanları vardır. Bu 10 yıllık periyoda bakıldığında ilk üç sırada kurumların yer aldığı ve bu kurumların mühendislik alanına daha çok odaklandıkları görülmektedir.

2011-2020 yılları arasında yapılan analize bakıldığında Hong Kong University of Science and Technology ilk sırada yer almaktadır. Aynı zaman aralığında en fazla atıf alan yazarlar listesinde yer alan Cheng üniversitenin İnşaat ve Çevre Mühendisliği Bölümünde BIM, yeşil binalar, nesnelere interneti (IoT), sürdürülebilir yapı ve inşaat tekniği konuları üzerinde çalışmaktadır.

## **5.6. Yayınların Dergilere göre Dağılımı**

1969-1980 yılları arasın bulunan makalelerin dergilere göre dağılımında Computer Aided Design dergisi ilk sırada gelmektedir. Bu dergi akademide ve endüstride bilgisayarların tasarımda kullanılmasıyla ilgili araştırma ve gelişmeler hakkında katkı sağlayan önemli makaleleri yayımlayan önde gelen uluslararası bir dergidir. Dergi konsept oluşumundan üretime ve devamına kadar tasarım sürecinin tüm aşamalarını kapsayan geniş bir konu yelpazesinde yeni uygulamaları bildiren yazıları içermektedir. Derginin yayımladığı bazı araştırma konuları: sanal gerçeklik ve prototip oluşturma yöntemleri, kullanıcı arayüzleri, sistem arayüzleri ve sistemlerin birlikte çalışabilirliği, çok ölçekli nesnelere ve sistemlerin tasarımı ve modellenmesi, bilgisayar destekli tasarımın uygulamaları ile önemli ölçütleri ve bilgisayar destekli tasarımda belirsizlik, hızlı prototipleme ve robotik, sonlu eleman yöntemleri, yapı zeka, test ve analiz için sayısal kontrol, mühendislik veri yöntemleri, alan ve tesis planlanması, bilgisayar grafikleri, sanal

ve artırılmış gerçeklik başta olmak üzere birçok farklı disiplini kapsamaktadır. CAD dergisinde makine ve üretim mühendisliği, inşaat mühendisliği, mimarlık ve elektrik elektronik mühendisliği alanlarıyla ilgili önemli makaleler yayımlanmaktadır. Computer Aided Design dergisi 1981-1990 yılları arasındaki analizde de ilk sırada yer almıştır. Fakat sonrasında etkinliğini kaybetmiş ve alt sıralara düşmüştür.

1969-1980 yılları arasında sayısal tasarım alanında en fazla makale yayınlayan dergi listesinde ikinci sırada Building and Environment dergisi gelmektedir. Building and Environment, yapı bilimi, şehir fiziği ve iç ve dış mekan yapılı çevre ile insan etkileşimi konularıyla ilgili özgün araştırma yazıları ve derleme makaleleri yayımlayan uluslararası bir dergidir. Yüksek performanslı binalar ve şehirler için akıllı teknolojiler ve entegre sistemler, yapı bilimi ve mühendisliğinde termal, akustik ve görsel performans, konfor ve hava kalitesi ve bu faktörlerin insanlar üzerindeki etkileri, çevresel etkileri azaltmak ve düşük karbonlu, sürdürülebilir yapılı ortamlar elde etmek için çözümler ve hesaplama, ekonomi, eğitim ve politika araçları dahil olmak üzere tasarım ve karar verme araçları konularında yazılan araştırma makaleleri dergide yer almaktadır. Bununla birlikte dergi yapı araştırması ve uygulamaları ile mimarlık biliminin sosyal, kültürel ve teknolojik bağlamını konu alan araştırma yazıları ve derleme makaleler de yayımlanmaktadır. Bu dergiyi sonraki yıllardaki listelerde olmayan Building Science dergisi takip etmektedir. Daha sonraki yıllarda da etkisini artıran Architectural Science Review Building Science ile birlikte 3. sırada yer almaktadır. Dergi, Sydney Üniversitesi'nde profesör olan Henry Cowan tarafından 1958 yılında meslek gelişimi teşvik etmek amacıyla kurulmuştur. Dergide kuruluşundan itibaren termal konfor, aydınlatma ve sürdürülebilir mimarlık, akustik çevresel tasarım, yapısal mühendislik ve sayısal mimarlık konularını kapsayan makaleler yayımlanmıştır. Dergi alanlarında başarılı uluslararası akademisyenlerden oluşan bir yayın danışma kurulu tarafından desteklenmektedir. Bu kurulun içinde 2001-2010 yılları arasında en fazla makale yazan yazarlar listesinde ikinci sırada yer alan ve enerji verimliliği alanında uzman Danny H. W. Li, 1991-2000 yılları arasında en fazla atıf alan yazarlar listesinde ikinci sırada olan Joseph Choi Lam ve 1969-1980 yılları arasında en fazla atıf alan yazarlar listesinde ikinci sırada olan Antony Radford da yer almaktadır. 1969-1980 yılları arasındaki listede en alt sırada yer alan Design Studies dergisi izleyen yıllarda etkisini artırarak üst sıralara gelmektedir.

1981-1990 yılları arasındaki dergi sıralamasında ilk sırada önceki yıllarda olduğu gibi CAD dergisi bulunmaktadır. Sonrasında listeye yeri giren Acta Polytechnica Scandinavica Civil Engineering and Building Construction Series ve Construction Specifier dergileri

gelmektedir. Finnish Academy of Technical Sciences editörlüğündeki Acta Polytechnica Scandinavica dergisi mühendislik, yapı ve inşaat konularında makale yayımlamaktadır. Construction Specifier dergisi ise 1948 yılında ABD’de kurulan ulusal bir organizasyon olan Construction Specifications Institute’nün resmi dergisidir. Derginin amacı kuruluşun inşaat bilgilerini yaymak ve yapı tasarım alanıyla ilgilenenler arasında iletişimi teşvik etmektir. Dergide yer alan yazılar inşaat belgeleri, malzemeleri ve yöntemleri hakkındadır. Listede 3. sırada yer alan dergi ise Design Studies’dır. Bu dergi sayısal tasarım alanında önemli bir yere sahip olan ve tasarım süreçleri anlayışını geliştirmeye odaklanan uluslararası akademik bir dergidir. Design Studies, mühendislik, mimarlık, planlama ve endüstriyel tasarım alanlarında çalışmalara yer veren disiplinler arası bir dergidir. Dergide tasarım pratiğinin yanı sıra tasarım eğitimindeki gelişmelere, tekniklere ve uygulamalara da yer verilmiştir. Derginin araştırma konuları: tasarım yönetimi, tasarım yöntemleri, planlama, tasarım eğitimi, tasarımda yapay zeka ve bilgisayar kullanımı, mühendislikte ve mimarlıkta tasarım, tasarımın kuramsal yönleri, endüstri ve tasarım ile tasarım ve imalattır.

1991-2000 yılları arasındaki analize bakıldığında önceki yıllarda ilk sırada olan CAD dergisinin son sıralarda olduğu görülmektedir. Automation in Construction dergisi listeye yeni girip ilk sıraya yerleşmiştir. Dergi Education in Computer Aided Architectural Design in Europe (eCAADe), International Association for Automation and Robotics in Construction (IAARC) ve International Council for Research and Innovation in Building and Construction (C.I.B.) gibi önemli kuruluşlar tarafından da desteklenmektedir. Uluslararası bir dergi olan Automation in Construction’da tasarımda bilgi teknolojileri, mühendislik, inşaat teknolojileri ve yapı tesislerin bakım ve yönetimi konularının üzerinde durulmuştur. Bununla birlikte dergide bilgisayar destekli tasarım, ürün modelleme, karar destek sistemleri, ürün veri değişimi, sınıflandırma ve standardizasyon, bilgisayar destekli mühendislik, robotik, otomatik denetim yıkım ve iyileştirme, akıllı kontrol sistemi, yönetim bilgi sistemi ve tesis yönetimi konularında da makaleler mevcuttur. Yapılan analizler ışığında disiplinlerarası bir alan olan sayısal tasarımın ilerleyen yıllarda daha fazla araştırmasının yapıldığı ve mühendislik alanında da kullanıldığı görülmektedir. Bu nedenle daha çok mühendislik alanındaki konulara odaklanan Automation in Construction dergisi 1990’lardan sonra listede üst sıralarda yer almaktadır. Dergiyi 1969-1980 yıllarında da ikinci sırada yer alan Building and Environment takip etmektedir. Sonrasında sayısal alanda öncü olan Design Studies gelmektedir. Bu dergiden sonra Amerikan İnşaat Mühendisleri Derneği tarafından iki ayda bir yayımlanan hakemli bilimsel bir dergi olan Journal of Computing in Civil Engineering listedeki yerini almıştır. Derginin amacı mühendislik alanındaki

gelişmeleri ve yenilikçi fikirleri araştırmacılara sunmaktır. Bu tür yenilikçi fikirlerin çoğu bilgisayar bilimi, bilgi bilimi, bilgisayar mühendisliği, bilgi mühendisliği ve diğer teknik alanlardaki son gelişmelerden dolayı ortaya çıkmaktadır. Birden çok disiplini barındıran dergi çağdaş inşaat mühendisliği hesaplamasında kullanılan yazılım, donanım ve stratejik konuları ele almaktadır. Derginin araştırma konuları: yeni programlama dilleri veri tabanı yönetim sistemleri, uzaktan algılama ve veri toplama, robotik ve yapay zeka, grafik ve görüntüleme, bilgisayar destekli tasarım sistemleri, uzman sistemler ile veri madenciliğidir.

2001-2010 yılları arasında Building and Environment dergisinin etkisi artmış ve en fazla makale yayımlama listesinde ilk sıraya yerleşmiştir. Sonrasında etki alanı yüksek olan Automation in Construction dergisi gelmektedir. Önceki listede son sıralamada olan Electronic Journal of Information Technology in Construction (ITCon) 3. sırayı Energy and Buildings dergisi ile paylaşmaktadır. Electronic Journal of Information Technology in Construction dergisinin amacı binaların tasarım, inşaat ve kullanım yaşam döngüsü boyunca bilgi teknolojilerinin uygulanmasına ilişkin konuları ele alan yenilikçi araştırmalara yer vermektir. Bilgi teknolojilerini kullanarak disiplinler arası etkileşimi artırmak da derginin hedeflerindedir. Bunların dışında derginin ele aldığı konular: veri alışverişi ve paylaşımı için programlar arası uzaktan iletişim, uzman sistemler, yapay zeka, vaka tabanlı düşünme, simülasyon, genetik algoritma gibi bilgi teknolojileri tabanlı tekniklerin kullanımı, bina standartlarının ve yönetmeliklerin sayısallaştırılmasıdır. Energy and Building dergisi ise binalarda enerji kullanımıyla ilgili makaleler yayımlayan uluslararası bir dergidir. Derginin yayımlanması ile hedeflenen, bir yapının enerji ihtiyacını azaltmayı ve iç mekanın kalitesini iyileştirmeyi amaçlayan yenilikçi araştırmaları ve kanıtlanmış yeni uygulama tekniklerini sunmaktır. Böylelikle dergide önemli yenilikleri bildiren pratik ve deneysel araştırma makalelerine yer verilmektedir. Dergide yeni teknolojilerin, materyallerin ve yenilikçi tasarımların analizi için sayısal yöntemlerin kullanılması ve uygulanmasıyla ilgili makaleler bulunmaktadır. Makalelerde işlenen konular şunlardır: yapı fiziği, enerjiyi verimli kullanan binalar, yapılı çevrede enerji tasarrufu, binalarda ısı geri kazanım sistemleri, bina performansı ve akıllı binalar, mimari tasarım, mekanik ve aydınlatma sistemleri arasındaki bağlantılar, bina kaplama malzemeleri ve yapı enerji performansı, termal enerji depolama ve termal olarak aktif bina sistemleri, binaların enerji performansı ve modelleme tahmin kontrolü. Energy and Buildings dergisini Solar Energy takip etmektedir. Uluslararası Güneş Enerjisi Topluluğunun (International Solar Energy Society®) resmi dergisi olan Solar Energy özellikle güneş enerji uygulamalarının bilim ve teknolojisi üzerine odaklanmıştır. 1954 yılında kurulan ISES® güneş enerjisi kullanımıyla ilgili araştırma ve geliştirme

konusunda bilgi veren bir topluluktur. Güneş enerji terimi rüzgar enerjisi ve biyokütle kavramlarını da beraberinde getirmektedir. Sonrasında gelen dergiler Design Studies ve Renewable Energy'dir. Renewable Energy yenilenebilir enerji mühendisliği başta olmak üzere birçok disiplini ilgilendiren araştırmalar yayımlayan çok disiplinli bir dergidir. Renewable Energy'nin amacı yenilenebilir enerji sistemleri ve bileşenlerinin teknolojileri ile ilgili bilgileri yaymaktır. Mühendis, mimar, ekonomist, üretici, dernek ve topluluklara uzmanlık alanlarıyla ilgili yeni gelişmeleri takip etmelerine ve alternatif enerji çözümlerini uygulamalarına olanak sağlamaktadır. Fotovoltaik teknoloji dönüşümü, güneş termal uygulamaları, düşük enerji mimarisi, iklimbilim ve meteoroloji, jeotermal teknoloji, rüzgar enerjisi teknolojisi, hidrojen üretim teknolojisi ve yakıt pilleri ile birlikte sosyo-ekonomik ve politik konular derginin kapsadığı alanlardır. 2001-2010 yılları arasındaki makalelerin dergilere göre dağılımı tablosunda ön sıralarda olan dergilere bakıldığında enerji verimliliği ve binaların enerji performansı konularının daha çok işlendiği görülmektedir. Bu nedenle bu araştırma konularına odaklanan Building and Environment, Energy and Buildings ve Renewable Energy dergileri ön plana çıkmıştır.

2011-2020 yılları arasındaki dergilere bakıldığında daha çok mühendislikle ilgili konuları işleyen Automation in Construction açık ara en önde yer almaktadır. Arkasından önceki yıllarda da etkililiği yüksek olan Building and Environment dergisi gelmektedir. Sonrasında sayısal tasarım alanında önemli bir dergi olan Energy and Buildings gelmektedir. Listede dördüncü sırada yer alan dergi ise International Journal of Architectural Computing (IJAC) dergisidir. Derginin oluşumunda sayısal tasarım alanında önemli olan eCAADe, ACADIA, SIGraDi, CAADRIA ve CAADFutures kuruluşları rol oynamıştır. Sırasıyla her yıl bir sayı, dört kurucu kuruluşun yayın kurulu üyeleri tarafından düzenlenmektedir. CAADFutures Vakfı da dergiyi desteklemekte ve editörlük düzenlemelerini yapmaktadır. IJAC bilgisayar destekli mimari tasarımın iş birliğine dayalı araştırma ve geliştirmesini artırmaya hedefleyen hakemli bir dergidir. Dergide mimari tasarımla ilgili kullanılan sayısal yöntemleri geliştirmek ve yapılan çalışmaları artırmaya yönelik yazılar yayımlanmaktadır. Derginin araştırma konuları mühendislik, yapı ve inşaatın yanı sıra bilgisayar bilimi, bilgisayar grafikleri, bilgisayar destekli tasarım ve bilgisayar bilimi uygulamalarıdır. Dergi Clarivate: Emerging Sources Citation Index (ESCI), SCOPUS, EBSCO ve ProQuest'te indekslenmektedir.

1969-2020 yılları arasında yapılan dergi analizinde Automation in Construction listede başı çekmektedir. Sayısal tasarım alanında yapılan dergi analizinde 1990'dan önce listede yer almayan dergi 1990'dan sonra yayın sayısını artırarak listelerde ilk sıralarda

görülmektedir. Sonrasında 1969 yılından itibaren listede başlarda yer alan Building and Environment dergisi gelmektedir. 2011-2020 yılları arasında listenin ortalarında yer alan ve sayısal tasarım alanında önemli bir yere sahip olan Design Studies ve Computer Aided Design dergileri 1969-2020 yılları arasındaki dergi analizinde başlarda yer almaktadır. Tüm bu dergiler tasarım alanına disiplinler arası bir bakış açısı geliştirmiş olan ve bu nedenle geniş bir okuyucu kitlesine hitap eden süreli yayınlardır.

## 6. SONUÇ

Mimarlıkta sayısal tasarım her geçen yıl önemini artırmaktadır. Bundan dolayı sayısal tasarımla ilgili yapılan çalışmalar ve üretilen makaleler de yıldan yıla artmaktadır. Buna rağmen sayısal tasarımla ilgili yeterince bibliyometrik analiz yapılmamakta ve alanın genel görünümü ortaya konulmamaktadır. Bu çalışma, ilgili araştırma açığını kapatmayı hedeflemiş ve bunun için sistematik analizler yaparak bunlar üzerinden çıkarımlarda bulunmuştur. Tezde sunulan bibliyometrik analizin temel amacı alanın entelektüel gelişimini gözler önüne sermek ve alanı daha iyi kavramaktır.

Bu tez Scopus tarafından indekslenen sayısal tasarım alanındaki itibarlı makalelerin anahtar sözcükler açısından haritalanmasını, anahtar sözcüklerin yıllara göre dağılımını, yazarların, üniversitelerin ve kurumların performansını ve yayınların dergilere göre dağılımını incelemiştir. Tez 1969-2020 yılları arasında son 50 yılda sayısal tasarım alanıyla ilgili tüm makaleleri analize dahil etmiştir. Sayısal tasarım alanı disiplinler arası bir konu olduğu için Scopus®'ta yapılan analiz mimarlık alanıyla sınırlı tutulmayıp diğer disiplinler de analize dahil edilmiştir. Sonrasında rafine edilen veriler VOSviewer© programına atılıp analizler yapılmıştır. Elde edilen bulgular 1969-1980, 1981-1990, 1991-2000, 2001-2010, 2011-2020 şeklinde 10'ar yıllık periyotlara bölünüp incelenmiştir. Sonrasında son 50 yıllık sürece toplu olarak da bakılmıştır.

Yapılan analizlerin ışığında sayısal tasarım konusunun her geçen yıl gelişmekte ve araştırmaya açık bir konu olduğu görülmektedir. Diğer disiplinlerle etkileşim içinde olan sayısal tasarım alanı mühendislik bilimi başta olmak üzere diğer bilimlerle de iç içedir. Sonuç olarak, alanında ilk olan bu çalışma sayısal tasarım araştırmaları hakkında önemli bilgilere ulaşmamıza katkı sağlamış olup, alanla ilgili 50 yıllık gelişimi gözler önüne sermiştir. Benzer çalışmaların artması araştırma alanını daha iyi kavramamıza yardımcı olacaktır.



## KAYNAKLAR

- [1] A. Andres, *Measuring Academic Research: How to Undertake a Bibliometric Study*. London, England: Elsevier, 2009.
- [2] M. J. Cobo, A. G. López-Herrera, E. Herrera-Viedma and F. Herrera, “Science mapping software tools: Review, analysis, and cooperative study among tools,” *Journal of the American Society for Information Science and Technology*, vol. 62, no. 7, pp.1382-1402, 2011.
- [3] Y. Gingras, *Les dérives de l'évaluation de la recherche: du bon usage de la bibliométrie*. Paris, France: Raisons d'agir, 2014.
- [4] A. Menges and S. Ahlquist, *Computational design thinking: computation design thinking*. New Jersey, USA: John Wiley & Sons, 2011.
- [5] B. Çolakoğlu, “Özel Dosya: Mimarlıkta Sayısal Tasarım 2010: Teknolojiler, Yöntemler ve Bilgi Yönetimi İşlemsel: Bilim-Tasarım-Düşünce ve Mimarlık,” *METU JFA*, vol. 10, no. 2, pp. 205-208, 2011.
- [6] W. Rapaport. “Etymology of Compute.” <https://cse.buffalo.edu/~rapaport/584/computetymology.html> (Erişim Tarihi: 9 Aralık 2020).
- [7] G. Stiny, and O. Y. Gün, “George Stiny ile Hesaplama ve Tasarım üzerine Açık Bir Söyleşi,” *Dosya 29 Hesaplamalı Tasarım*, pp. 6-11, 2012.
- [8] A. Borst and Z. A. Yılmaz, *Computus: Avrupa Tarihinde Zaman ve Sayı*. Ankara, Turkey: Dost Kitabevi, 1997.
- [9] M. Özkar, “Sayısala Sayısal Olmayan bir Arayüz: Temel Tasarım,” *Mimarlık Dergisi*, vol. 321, pp. 31-32, 2005.
- [10] A. Koutamanis, “A biased history of CAAD,” in: *Proceedings of the 23th eCAADe Conference*, 2005, pp. 629-637.

- [11] I. Caetano, L. Santos and A. Leita, "Computational design in architecture: Defining parametric, generative, and algorithmic design," *Frontiers of Architectural Research*, vol. 9, pp. 287-300, 2020.
- [12] A. T. Ferrante, L. F. R. Moreira, Boggio Videla, J. M. and A. Montagu, *Computer Graphics for Engineers and Architects*. Amsterdam, Holland: Elsevier, 1991.
- [13] Ş. Taşlı Pektaş, "Mimarlıkta Yapı Bilgi Modellemesi Uygulamaları," *Mimarlık Dergisi*, pp. 346, 2009.
- [14] A. Arpak, "Tasarım Yöntemleri Hareketi: 1960'larda Pozitivist Ve Fenomenolojik Modeller İle Tasarımın Rasyonalizasyonu (Ussallaştırılması)," *Dosya 29*, pp. 34-40, 2012.
- [15] J. Z. Langrish," The Design Methods Movement From Optimism to Darwinism," in: *Proceeding of the 50th Anniversary Design Research Society Conference*, Brighton, UK, June 27-30, 2016.
- [16] A. Pritchard, "Statistical bibliography or bibliometrics," *Journal of documentation*, vol. 24, pp.348-349, 1969.
- [17] S. J. Bensman, "Urquhart and probability: The transition from librarianship to library and information science," *Journal of the American Society for Information Science and Technology*, vol.56, pp.189-2015, 2005.
- [18] P. Martinez, M. Al-Hussein and R. A. Ahmad, "Scientometric analysis and critical review of computer vision applications for construction," *Automation in Construction*, vol. 107, no. 102947, 2019.
- [19] T. E. Nisonger and C. H. Davis, "The perception of library and information science journals by LIS education deans and ARL library directors: A replication of the Kohl-Davis study," *Perception of Library and Information Science Journals*, 2005.
- [20] E. Garfield and R. K. Merton, *Citation indexing: Its theory and application in science, technology, and humanities*. New York, USA: Wiley, 1979.

- [21] L. Leydesdorff and S. Milojević, “Scientometrics,” *arXiv preprint*, vol. 1208.4566, 2012.
- [22] L. Bjorneborn, “Small-world link structures across an academic web space: A library and information science approach,” Ph. D. thesis, Royal School of Library and Information Science, University of Copenhagen, Copenhagen, Denmark, 2004.
- [23] L. Leydesdorff, *The challenge of scientometrics: The development, measurement, and self-organization of scientific communications*. Florida, USA: Universal Publishers, 2001.
- [24] P. Wouters, “Aux origines de la scientométrie: La naissance du Science Citation Index,” *Actes de La Recherche En Sciences Sociales*, vol. 4, no. 164, pp. 10–21, 2006.
- [25] E. Vieira and J. Gomes, “A comparison of Scopus and Web of Science for a typical university,” *Scientometrics*, vol. 81, no. 2, pp. 587-600, 2009.
- [26] P. Mongeon and A. Paul-Hus, “The journal coverage of Web of Science and Scopus: a comparative analysis,” *Scientometrics*, vol. 106, no. 1, pp. 213-228, 2016.
- [27] R. Ball and D. Tunger, “Science indicators revisited—Science Citation Index versus SCOPUS: A bibliometric comparison of both citation databases,” *Information Services & Use*, vol. 26, no. 4, pp. 293-301, 2006.
- [28] M. E. Falagas, E. I. Pitsouni, G. A. Malietzis and G. Pappas, “Comparison of PubMed, Scopus, Web of Science, and Google Scholar: Strengths and weaknesses,” *The FASEB Journal*, vol. 22, no. 2, pp. 338-342, 2008.
- [29] SCOPUS FAQs. “Scopus.” <http://www.info.scopus.com> (Erişim Tarihi: 2 Aralık 2020).
- [30] B. Fahimnia, J. Sarkis and H. Davarzani, “Green supply chain management: A review and bibliometric analysis,” *International Journal of Production Economics*, vol. 162, pp. 101-114, 2015.
- [31] J. L and A. Hale, “Output distributions and topic maps of safety related journals,” *Safety science*, vol. 82, pp. 236-244, 2016.

- [32] W. M. Sweileh, S. W. Al-Jabi, A. S. Abutaha, H. Z. Sa'ed, F. M. Anayah and A. F. Sawalha, "Bibliometric analysis of worldwide scientific literature in mobile-health: 2006–2016," *BMC medical informatics and decision making*, vol. 17, no. 1, pp. 72, 2017.
- [33] W. M. Sweileh, "Global research trends of World Health Organization's top eight emerging pathogens," *Globalization and Health*, vol. 13, no. 1, pp. 9, 2017.
- [34] S. A. Sarkodie and V. Strezov, "A review on Environmental Kuznets Curve hypothesis using bibliometric and meta-analysis," *Science of the Total Environment*, vol. 649, pp. 128-145, 2019.
- [35] M. Kozak, L. Bornmann and L. Leydesdorff, "How have the Eastern European countries of the former Warsaw Pact developed since 1990? A bibliometric study," *Scientometrics*, vol. 102, no. 2, pp. 1101-1117, 2015.
- [36] L. Leydesdorff, S. Carley and I. Rafols, "Global maps of science based on the new Web-of-Science categories," *Scientometrics*, vol. 94, no. 2, pp. 589-593, 2013.
- [37] Q. Zhao, W. Zhang, R. Wang, Y. Wang and D. Ouyang, "Research advances in molecular modeling in cyclodextrins," *Current Pharmaceutical Design*, vol. 23, no. 3, pp. 522-531, 2017.
- [38] L. Leydesdorff, I. Rafols and C. Chen, "Interactive overlays of journals and the measurement of interdisciplinarity on the basis of aggregated journal–journal citations," *Journal of the American Society for Information Science and Technology*, vol. 64, no. 12, pp. 2573-2586, 2013.
- [39] D. T. Ross, "Computer- aided design: A Statement of Objectives," in *Technical Memorandum M.I.T. Project 8436*, 1960.
- [40] D. Weisberg. "The Engineering Design Revolution: The People, Companies and Computer Systems that Changed Forever the Practice of Engineering." 2008. <http://www.cadhistory.net> (Erişim Tarihi: 20 Kasım 2020).
- [41] D. Davis. "A history of parametric." 2013. <http://www.danieldavis.com/a-history-of-parametric> (Erişim Tarihi: 20 Kasım 2020).

- [42] I. Sutherland, "Sketchpad: A man-machine graphical communication system," Ph. D. Thesis, Massachusetts Institute of Technology, Cambridge, USA, 1963.
- [43] E. Ayebeng Botchway, S. Amos-Abanyie, and E. O. Yeboah-Boateng, "The impact of computer aided architectural design tools on architectural design education. The case of KNUST," *Journal of Architectural Engineering Technology*, vol. 4, no. 2 pp. 145, 2015.
- [44] B. De Vries, J. P. Van Leeuwen and H. Achten, "Computer Aided Architectural Design Futures 2001: Proceedings of the Ninth International Conference," in *Eindhoven University of Technology*, Eindhoven, The Netherlands, July 8–11, vol. 1, Springer Science & Business Media, 2011.
- [45] G. Schmitt, W. Oechslin, "Computer Aided Architectural Design Futures," in *Proceedings CAAD Futures '91, Wiesbaden: Vieweg*, 1991, pp. 9-16.
- [46] A. M. Turing, *Computing machinery and intelligence*. Oxford, England: Oxford University Press, 1950.
- [47] Ç. M. Bakırcı. "Katledilmiş Deha: Bilgisayar ve Yapay Zeka'nın Fikir Babası Alan Turing." <https://evrimagaci.org/katledilmis-deha-bilgisayar-ve-yapay-zekanin-fikir-babasi-alan-turing-27> (Erişim Tarihi: 22 Aralık 2020).
- [48] B. G. Taşçı and Ö. Aktaş, "Yapay Zeka ve Mimarlık," *Yapı Dergisi*, pp. 413, 2016.
- [49] Ş. Taşlı and B. Özgüç, "Dynamic Simulation in Virtual Environments as an Evaluation Tool in Architectural Design," *Architectural Science Review*, vol. 44, no. 2, pp. 139-144, 2001.
- [50] B. Succar, "Building information modelling framework: A research and delivery foundation for industry stakeholders," *Automation in Construction*, vol. 18, no. 2, pp. 357-375, 2009.
- [51] J. Tu, G. H. Yeoh and C. Liu, *Computational fluid dynamics: a practical approach*. Oxford, UK: Butterworth-Heinemann, 2018.

- [52] J. Y. Tsou, "Strategy on applying computational fluid dynamic for building performance evaluation," *Automation in Construction*, vol. 10, no.3, pp. 327-335, 2001.
- [53] G. H. Clannachan, J. B. Lim, N. Bicanic, I. J. Taylor and T. J. Scanlon, "Practical application of CFD for wind loading on tall buildings," in *7th International Conference on Tall Buildings*, Hong Kong, China, Oct. 29-30, 2009, pp. 767-776.
- [54] A. Kareem, S. M. Spence, E. Bernardini, S. Bobby and D. Wei, "Wind engineering: Using computational fluid dynamics to optimize tall building design," *CTBUH Journal*, pp. 38-43, 2013.
- [55] X. Zhao, "A scientometric review of global BIM research: Analysis and visualization," *Automation in Construction*, vol. 80, pp. 37-47, 2017.
- [56] C. Eastman, P. Teicholz, R. Sacks and K. Liston, *BIM handbook: A guide to building information modeling for owners, managers, designers, engineers and contractors*. Hoboken, New Jersey, USA: John Wiley & Sons, 2011.
- [57] S. Azhar, "Building information modeling (BIM): Trends, benefits, risks, and challenges for the AEC industry," *Leadership and management in engineering*, vol. 11, no. 3, pp. 241-252, 2011.
- [58] J. Monedero, "Parametric design: a review and some experiences," *Automation in Construction*, pp. 369-377, 2000.
- [59] Oxford Sözlüğü. "Parameter." <http://www.oxforddictionaries.com/definition/english/parameter?q=parameter> (Erişim Tarihi: 20 Kasım 2020).
- [60] M. Burry, "Parametric design and the Sagrada Familia," *Architectural Research Quarterly*, vol. 1, no. 4, pp. 70-81, 1996.
- [61] P. Schumacher, "Parametricism as style-Parametricist Manifesto," in *11th Architecture Biennale*, Venice, Italy, Sept. 14-Nov. 23, 2008, pp. 17-20.

- [62] W. Rybczynski. "Parametric Design: What's Gotten Lost Amid the Algorithms." [https://www.architectmagazine.com/design/parametric-design-whats-gotten-lost-amid-the-algorithms\\_o](https://www.architectmagazine.com/design/parametric-design-whats-gotten-lost-amid-the-algorithms_o) 2013 (Erişim Tarihi: 12 Aralık 2020).
- [63] R. Coyne. "What's wrong with parametricism." <https://richardcoyne.com/2014/01/18/whats-wrong-with-parametricism/> 2014. (Erişim Tarihi: 12 Aralık 2020).
- [64] P. Schumacher, "Parametricism 2.0: Gearing up to impact the global built environment," *Architectural Design*, vol. 2, no. 86, pp. 8-17, 2016.
- [65] G. Schmitt, *Information Architecture Basis and Future of CAAD*. Basel, Switzerland: Birkhauser, 1999.
- [66] M. Heilig. <http://www.mortonheilig.com/> (Erişim Tarihi: 22 Aralık 2020).
- [67] I. E. Sutherland, "A Head Mounted Three Dimensional Display," in *AFIPS Fall Joint Computer Conference*, San Francisco, USA, December 9–11, 1968, pp. 757-764.
- [68] R. T. Azuma, "A survey of augmented reality," *Presence: Teleoperators & Virtual Environments*, vol. 6, no. 4, pp. 355-385, 1997.
- [69] S. Kaya and N. Fığlalı, "Çok Amaçlı Optimizasyon Problemlerinde Pareto Optimal Kullanımı," *Sosyal Bilimler Araştırma Dergisi*, vol. 5, no. 2, pp. 9-18, 2016.
- [70] T. Maver, "How CAAD is changing society's role in architecture," 2017.
- [71] C.T. Hendrickson. "Carnegie Mellon University." <https://www.cmu.edu/cee/people/faculty/hendrickson.html> (Erişim Tarihi: 28 Kasım 2020).
- [72] C.T. Hendrickson. "National Academy of Construction." <https://www.naocon.org/members/chrishendrickson/> (Erişim Tarihi: 28 Kasım 2020).
- [73] M. Golparvar-Fard. "Institute For Artificial Intelligence In Construction Planned." <https://cee.illinois.edu/news/institute-artificial-intelligence-construction-planned> (Erişim Tarihi: 6 Aralık 2020).