T.C.

YILDIZ TEKNİK ÜNİVERSİTESİ

FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

PIER LUIGI NERVI'NİN YAPILARINDA MATEMATİK İLE ESTETİĞİN BÜTÜNLEŞMESİ

Kayahan HOROZ

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Mimarlık Anabilim Dalı

Mimarlık Tarihi ve Kuramı Programı

Danışman

Prof. Dr. Nur URFALIOĞLU

Temmuz, 2025

T.C.

YILDIZ TEKNİK ÜNİVERSİTESİ

FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

PIER LUIGI NERVI'NİN YAPILARINDA MATEMATİK İLE ESTETİĞİN BÜTÜNLEŞMESİ

Kayahan HOROZ tarafından hazırlanan tez çalışması 21.07.2025 tarihinde aşağıdaki jüri tarafından Yıldız Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Mimarlık Anabilim Dalı, Mimarlık Tarihi ve Kuramı Programı **YÜKSEK LİSANS TEZİ** olarak kabul edilmiştir.

Prof. Dr. Nur URFALIOĞLU
Yıldız Teknik Üniversitesi
Danışman

Jüri Üyeleri

Prof. Dr. Nur URFALIOĞLU, Danışman
Yıldız Teknik Üniversitesi _____

Prof. Dr. Nuran PILEHVARIAN, Üye
Yıldız Teknik Üniversitesi _____

Prof. Dr. Zübeyde Özlem PARLAK BİÇER, Üye
Erciyes Üniversitesi _____

Danışmanım Prof. Dr. Nur URFALIOĞLU sorumluluğunda tarafımca hazırlanan "Pier Luigi Nervi'nin Yapılarında Matematik ile Estetiğin Bütünleşmesi" başlıklı çalışmada veri toplama ve veri kullanımında gerekli yasal izinleri aldığımı, diğer kaynaklardan aldığım bilgileri ana metin ve referanslarda eksiksiz gösterdiğimi, araştırma verilerine ve sonuçlarına ilişkin çarpıtma ve/veya sahtecilik yapmadığımı, çalışmam süresince bilimsel araştırma ve etik ilkelerine uygun davrandığımı beyan ederim. Beyanımın aksinin ispatı halinde her türlü yasal sonucu kabul ederim.

Kayahan HOROZ

İmza

Keyifli bir yaşamın bilgeliğini aynı keyifle aktaran

Yüksek Mimar Mühendis Can Arık'ın değerli anısına

TEŞEKKÜR

Tez çalışmam boyunca çok değerli katkıları ile araştırmama yön veren, zamanını ve sabrını esirgemeyen tez danışmanım Sayın Prof. Dr. Nur URFALIOĞLU'na en içten teşekkürlerimi sunarım; onun rehberliği ve desteği olmadan bu çalışmayı tamamlamam mümkün olmazdı.

Tez jürimde yer alan ve bu yoğun süreçte değerli vakitlerini ayırarak çalışmamı inceleyen hocalarım Sayın Prof. Dr. Nuran PILEHVARIAN ve Sayın Prof. Dr. Zübeyde Özlem PARLAK BİÇER'e yapıcı eleştirileri ve yol gösterici önerileri için daima müteşekkir olacağım.

Ayrıca, koşulsuz destekleriyle her zaman yanımda olan sevgili ailem başta olmak üzere, bu süreçte bana katlanmak zorunda kalan herkese de gösterdikleri sabır ve anlayıştan dolayı minnettarım.

Kayahan HOROZ

İÇİNDEKİLER

ŞEKİL LİSTESİ vi

TABLO LİSTESİ xii

ÖZET xiii

ABSTRACT xv

1 GİRİŞ 1

1.1 Tezin Amacı, Kapsamı ve Yöntemi 1

1.2 Literatür Özeti 4

2 MİMARİDE MATEMATİK VE ESTETİK 7

2.1 Antik Çağdan Endüstri Devrimine 7

2.2 Endüstri Devriminden Günümüze 24

3 PIER LUIGI NERVI: "MİMAR-MÜHENDİS" 43

3.1 Tasarım Felsefesinin Oluşumu 46

3.2 Mühendislik ile Mimarlığın Sentezi 49

3.3 Malzeme ve İfadede Yenilikçilik 53

3.4 Mesleki Pratiğinin Evrimi 58

4 KATALOG: ÖRNEK NERVI YAPILARI 62

5 DEĞERLENDİRME 109

6 SONUÇ 124

KAYNAKÇA 129

TEZDEN ÜRETİLMİŞ YAYINLAR 134

ŞEKİL LİSTESİ

Şekil 2.1 Antik Mısır'da 3-4-5 üçgeni dik açının yanında, farklı geometrik şekillerin elde edilmesi için de kullanılmıştır..... **8**

Şekil 2.2 VI. Ramses'in mezar odasının tonozuna ait eliptik eğrinin kaya üzerine kazınmış çizimi **9**

Şekil 2.3 Öklid'in tanımıyla "uç ve orta oran", farklı geometrik uygulamalarıyla antik Yunan'dan günümüze kadar ilgi odağı olmuştur **11**

Şekil 2.4 Parthenon'un ön cephesi bir altın dikdörtgene yerleştirildiğinde, arşitrav, friz ve alınlık da altın dikdörtgenlere oturmaktadır **12**

Şekil 2.5 Boyu çapının 8 katı olan bir Dor sütununda 2 çap yüksekliğindeki saçaklığın oransal ölçeklendirmesi..... **13**

Şekil 2.6 Pantheon, içerisine küre yerleştirilebilecek bir iç hacme ve geometrik oranlarla oluşturulmuş bir plana sahiptir..... **14**

Şekil 2.7 Ortaçağ döneminde yaygın kullanılan ad quadratum örnekleri; karelerin alan büyüklükleri 1:2:4 dizilişine sahiptir..... **15**

Şekil 2.8 Honnecourt'un albümünden: Tek bir kumpas açıklığıyla üç farklı kemer biçiminin oluşturulması..... **16**

Şekil 2.9 Alberti'nin 1:2 oranıyla bir kareyi daha küçük karelere bölerek türettiği Santa Maria Novella cephesi..... **17**

Şekil 2.10 Francesco di Giorgio'nun Trattato di Architettura'sından antropomorfik mimari çizimler **18**

Şekil 2.11 Leonardo da Vinci'nin Vitruvius Adamı olarak bilinen ünlü çizimi ... **19**

Şekil 2.12 Bramante'nin Tempietto'sunda planın her detayı ad quadratum şemasıyla örtüşen bir konumda bulunmaktadır..... **20**

Şekil 2.13 Villa Rotonda'nın planı, Palladio'nun geometrik formlara, simetri ve oranlara verdiği önemi ortaya koymaktadır **21**

Şekil 2.14 Gelileo, kirişin yüklenme yönü ve içinin dolu ya da boş olması gibi farklı durumları içeren analizler gerçekleştirmiştir..... **22**

Şekil 2.15 Hooke'un asılı bir zincirle kurduğu kemer analojisi ve Wren tarafından St. Paul Katedrali'nin kubbesinde uygulanışı **23**

Şekil 2.16 Thomas Telford tarafından tasarlanan Holt Fleet köprüsü 1828 yılında hizmete açılmıştır..... **25**

Şekil 2.17 Kristal Saray, yeni teknolojiyle gelen tümüyle işlevsel bir tasarım yaklaşımının anıtsal bir örneği olmuştur..... **26**

Şekil 2.18 Pugin 19. yüzyılın çağdaş mimarisi ile 14. yüzyılın Gotik mimarisini "Doğruluk" terazisinin kefelerinde kıyaslamıştır **27**

Şekil 2.19 Viollet-le-Duc, kilit taşlarını uzatan mimarların dürüstlükle birlikte estetikten de uzaklaştıklarını belirtmiştir **28**

Şekil 2.20 Viollet-le-Duc, dönemin gelişen inşaat teknolojisini estetik ifade ile bütünleştiren bir yaklaşım ortaya koymuştur **29**

Şekil 2.21 Semper'e göre, Mısır situla'sının alt bölümü "tüm Mısır mimarisinin temel özelliklerini" ve Yunan hydria'sının üst bölümü de "Dor mimarisinde bulunan belirli tipleri" barındırmaktadır **30**

Şekil 2.22 Müller-Breslau'nun tasarımı olan Berlin'deki Kaisersteg Köprüsü 1898 yılında hizmete girmiştir **32**

Şekil 2.23 Geleneksel simetrik kompozisyonu çağdaş malzeme ve inşa yöntemiyle birleştiren Karlsplatz Tren İstasyonu (1899), Wagner'in "modern" stilinin ilk örneklerinden biridir **34**

Şekil 2.24 Eiffel'in 1884 yılında inşa ettiği Garabit Viyadüğü, 165 metre ile döneminin en geniş açıklıklı kemerine sahiptir **35**

Şekil 2.25 Behrens'in 1908 yılında AEG için tasarladığı türbin fabrikası, endüstriyel mimari için bir milat olmuştur **37**

Şekil 2.26 Dischinger ve Bauersfeld'in 1922 yılında Jena'daki Zeiss fabrikasının çatısına kurdukları 16 metre çapındaki Planetarium'da çelik iskelet üzerine beton püskürtülerek 3 cm. kalınlığında bir kabuk elde edilmiştir **38**

Şekil 2.27 Le Corbusier'nin strüktürel bir mühendislik çözümü olan betonarme iskeleti mimari bir ifadeye dönüştüren 1915 tarihli "Dom-ino Evi" tasarımı, sonraki yıllarda mimari üretiminin temelini oluşturmuştur **39**

Şekil 2.28 Maillart'ın 1939 İsviçre Ulusal Fuarı için tasarladığı "Beton Salon"da tavan ve duvarları bütünleştiren kabuk form-strüktür **41**

Şekil 3.1 Nervi, Roma'da inşa ettiği Palazzetto dello Sport önünde, 1957 ..... **44**

Şekil 3.2 Silvio Canevazzi (1852-1918) ve Attilio Muggia (1861-1936) **47**

Şekil 3.3 Nervi'nin ilk büyük ölçekli betonarme çatı tonozu, Floransa, 1920 ..... **48**

Şekil 3.4 Orvieto hangarları için 1:37,5 ölçeğinde hazılanan selüloit model **51**

Şekil 3.5 İkinci seri Orvieto hangarları için zeminde kalıplanan çatı elemanları **54**

Şekil 3.6 Ferroçimento, yapısal ölçekte ilk kez 1945 yılında Magliana'daki bir depoda uygulanmıştır **57**

Şekil 3.7 UNESCO Genel Merkezi projesinin maketi **59**

Şekil 4.1 Kentin ülke haritasındaki konumu **64**

Şekil 4.2 Yapının genel görünüşü **64**

Şekil 4.3 Yapının hava fotoğrafı **64**

Şekil 4.4 Nervi'nin çatı eskizi **65**

Şekil 4.5 İnşaat sürecinde oditoryum strüktürü **65**

Şekil 4.6 Betonarme kiriş katmanları **66**
Şekil 4.7 Tamamlanan salonun genel görünümü **66**
Şekil 4.8 Kentin ülke haritasındaki konumu **67**
Şekil 4.9 Yapının genel görünüşü **67**
Şekil 4.10 Yapının hava fotoğrafı **67**
Şekil 4.11 Tribün çatısının uygulama çizimi **68**
Şekil 4.12 İnşaat sürecinde tribün strüktürü **68**
Şekil 4.13 Spiral Merdiven **69**
Şekil 4.14 Maraton Kulesi **69**
Şekil 4.15 Kentin ülke haritasındaki konumu **70**
Şekil 4.16 Yapının genel görünüşü **70**
Şekil 4.17 Konumun hava fotoğrafı **70**
Şekil 4.18 Birinci seri yapının içeriden görünüşü **71**
Şekil 4.19 Laboratuar testleri için üretilen ölçekli model **71**
Şekil 4.20 İkinci seri yapının içeriden görünüşü **72**
Şekil 4.21 Nervi'nin "strüktürel prefabrikasyon" patenti **72**
Şekil 4.22 Kentin ülke haritasındaki konumu **73**
Şekil 4.23 Yapının genel görünüşü **73**
Şekil 4.24 Yapının hava fotoğrafı **73**
Şekil 4.25 Tamamlanan yapının içeriden görünümü **74**
Şekil 4.26 Salonun vaziyet planı **74**
Şekil 4.27 Tonoz dalgalarını oluşturan ferroçimento bloklar **75**
Şekil 4.28 İnşaat sürecinde apsisin kubbesi **75**
Şekil 4.29 Kentin ülke haritasındaki konumu **76**
Şekil 4.30 Bodrum katının genel görünümü **76**
Şekil 4.31 Yapının hava fotoğrafı **76**
Şekil 4.32 Nervi'nin izostatik kaburgalı döşeme patenti **77**
Şekil 4.33 İnşaat sürecinde kaburga kalıpları **77**
Şekil 4.34 Tavan detayı **78**
Şekil 4.35 Yapının güncel fotoğrafı **78**
Şekil 4.36 Kentin ülke haritasındaki konumu **79**
Şekil 4.37 Yapıların genel görünüşü **79**
Şekil 4.38 Yapının hava fotoğrafı **79**
Şekil 4.39 Genel Sekreterlik Binası'nın taşıyıcı strüktürü **80**
Şekil 4.40 Değişken kesitli kolonlar **80**

Şekil 4.41 Genel Kurul Salonu'nun dışarıdan görünüşü **81**
Şekil 4.42 Genel Kurul Salonu'nun içeriden görünüşü **81**
Şekil 4.43 Kentin ülke haritasındaki konumu **82**
Şekil 4.44 Yapının genel görünüşü **82**
Şekil 4.45 Yapının hava fotoğrafı **82**
Şekil 4.46 Tavellonilerin üretiminde kullanılan kalıplar **83**
Şekil 4.47 İnşaat sürecinde çatı strüktürü **83**
Şekil 4.48 Kubbeyi saran payandalar **84**
Şekil 4.49 Yapının içeriden görünüşü **84**
Şekil 4.50 Yapının genel görünüşü **85**
Şekil 4.51 Kentin ülke haritasındaki konumu **85**
Şekil 4.52 Yapının genel görünüşü **85**
Şekil 4.53 Yapının aksonometrik kesiti **86**
Şekil 4.54 İnşaat sürecinde oditoryum alanı **86**
Şekil 4.55 Yapının 1:10 ölçekli modeli **87**
Şekil 4.56 Kazanın ardından yapının görünümü **87**
Şekil 4.57 Kentin ülke haritasındaki konumu **88**
Şekil 4.58 Yapının genel görünüşü **88**
Şekil 4.59 Yapının hava fotoğrafı **88**
Şekil 4.60 İnşaat sürecinde kapalı tribünlerin taşıyıcı çerçeveleri **89**
Şekil 4.61 Tribünün altında yer alan yüzme havuzu ve betonarme çerçeveler **89**
Şekil 4.62 Kapalı tribünün üzerindeki konsol çatı **90**
Şekil 4.63 Kapalı tribün tarafındaki desteklerin dışarıdan görünümü **90**
Şekil 4.64 Kentin ülke haritasındaki konumu **91**
Şekil 4.65 Yapının genel görünüşü **91**
Şekil 4.66 Yapının hava fotoğrafı **91**
Şekil 4.67 Kubbenin içeriden görünüşü **92**
Şekil 4.68 Yelpaze formundaki destek elemanları **92**
Şekil 4.69 İnşaat sürecinde prefabrik kubbe elemanı **93**
Şekil 4.70 Çevre galerisi ve eğik kolonlar **93**
Şekil 4.71 Kentin ülke haritasındaki konumu **94**
Şekil 4.72 Yapının genel görünüşü **94**
Şekil 4.73 Yapının hava fotoğrafı **94**
Şekil 4.74 Çatı plakalarını taşıyan "mantar" strüktürünün görünüş ve kesiti **95**
Şekil 4.75 İnşaat sürecinde kolonlar **95**

Şekil 4.76 "Italia '61" sergisinde yapının içeriden görünüşü **96**
Şekil 4.77 Asma katın izostatik kaburgalı zemini **96**
Şekil 4.78 Kentin ülke haritasındaki konumu **97**
Şekil 4.79 Yapının genel görünüşü **97**
Şekil 4.80 Yapının hava fotoğrafı **97**
Şekil 4.81 Çatı strüktürünün kesit çizimleri **98**
Şekil 4.82 İnşaat sürecinde kafes kiriş strüktürü **98**
Şekil 4.83 Ana taşıyıcı kolon modeli **99**
Şekil 4.84 İnşaat sürecinde çatı strüktürü, önde Nervi **99**
Şekil 4.85 Kentin ülke haritasındaki konumu **100**
Şekil 4.86 Yapının genel görünüşü **100**
Şekil 4.87 Yapının hava fotoğrafı **100**
Şekil 4.88 Ayaklar için betonarme panellerden oluşturulan kalıcı kalıplar **101**
Şekil 4.89 Ayak strüktürü **101**
Şekil 4.90 İnşaat sürecinde çelik çatı strüktürü **102**
Şekil 4.91 Fabrikanın içerisinden genel görünüm **102**
Şekil 4.92 Ülke-kentin haritadaki konumu **103**
Şekil 4.93 Yapının genel görünüşü **103**
Şekil 4.94 Yapının hava fotoğrafı **103**
Şekil 4.95 Yapının planı **104**
Şekil 4.96 Salonun sahneden görünüşü **104**
Şekil 4.97 İnşaat sürecinde sahne yönündeki payanda **105**
Şekil 4.98 Törenlerde papalık tahtının konulduğu sahne **105**
Şekil 4.99 Kentin ülke haritasındaki konumu **106**
Şekil 4.100 Yapının genel görünüşü **106**
Şekil 4.101 Yapının hava fotoğrafı **106**
Şekil 4.102 Yapının kesit çizimi **107**
Şekil 4.103 Çatıyı taşıyan ayaklar **107**
Şekil 4.104 Laboratuarda üretilen ölçekli model **108**
Şekil 4.105 Yapının içeriden görünüşü **108**
Şekil 5.1 Auguste Perret'nin tasarladığı 1922 tarihli Notre-Dame du Raincy Kilisesi **116**
Şekil 5.2 Félix Candela tarafından 1958 yılında tasarlanan Mexico City'deki Los Manantiales Restoranı **117**
Şekil 5.3 Mies van der Rohe tarafından tasarlanan Illinois'deki Farnsworth Evi **118**

Şekil 5.4 Küçük Spor Sarayı kubbesinin içeriden görünümü.....**119**
Şekil 5.5 Jørn Utzon'un Sidney Opera Binası.....**120**
Şekil 5.6 Oscar Niemeyer'in Brasilia Katedrali.....**120**

TABLO LİSTESİ

Tablo 3.1 Nervi'nin tasarladığı ya da tasarımına katkıda bulunduğu yapılar **45**
Tablo 4.1 Augusteo Sineması **64**
Tablo 4.2 Giovanni Berta Stadyumu **67**
Tablo 4.3 Orvieto Hangarları **70**
Tablo 4.4 Torino Sergi Sarayı Agnelli Salonu **73**
Tablo 4.5 Gatti Yün Fabrikası **76**
Tablo 4.6 UNESCO Genel Merkezi **79**
Tablo 4.7 Küçük Spor Sarayı **82**
Tablo 4.8 Pirelli Kulesi **85**
Tablo 4.9 Flaminio Stadyumu **88**
Tablo 4.10 Büyük Spor Sarayı **91**
Tablo 4.11 Emek Sarayı **94**
Tablo 4.12 Washington Köprüsü Otobüs Terminali **97**
Tablo 4.13 Burgo Kağıt Fabrikası **100**
Tablo 4.14 Papalık Dinleyici Salonu **103**
Tablo 4.15 Meryem Ana Katedrali **106**
Tablo 5.1 Kataloğa alınan yapıların karşılaştırmalı analizi **111**

ÖZET

Pier Luigi Nervi'nin Yapılarında Matematik ile Estetiğin Bütünleşmesi

Kayahan HOROZ

Mimarlık Anabilim Dalı
Mimarlık Tarihi ve Kuramı Programı
Yüksek Lisans Tezi

Danışman: Prof. Dr. Nur URFALIOĞLU

Mimarlık tarihi, strüktürel gereksinimler ile estetik arayışlar arasında süregelen bir diyalogla biçimlenmiş ve bu diyaloğun dili de antik çağın sembolik oran sistemlerinden modern dönemin performans odaklı geometrilerine kadar, sürekli bir evrim geçirmiştir. Endüstri Devrimi'nin ardından gelen yeni malzeme ve kuramlarla giderek daha karmaşık bir hal alan tasarım ve inşaat gereksinimlerinin strüktürel verimlilik, malzemeye sadakat ve fizik yasalarından türetilen formlara yönelik bir anlayışı beslediği bir dönemde ortaya çıkan ve modern bir usta yapıcı olarak yaratıcı vizyonun teknik yetkinlikle bütünleştiği "mimar-mühendis" figürünün belki de en önemli temsilcisi olan Pier Luigi Nervi, betonarmenin ifade potansiyelini o güne değin görülmemiş bir ölçek ve zarafete sahip yapılar yaratmak için kullanmış ve tüm kariyerini bu temel üzerinde şekillendirmiştir.

Strüktürel, işlevsel ve ekonomik doğruluğun mimari güzellik için gerekli ve yeterli koşullar olduğunu savunan ve bu felsefesini *"costruire correttamente"* (doğru inşa etme) ilkesiyle özetleyen Nervi'nin matematiksel ilkeleri estetik ifadeyle

bütünleştirerek özgün bir strüktürel mimari yaratma sürecini inceleyen bu tez, onun sanat ile bilim arasındaki sınırları yeniden tanımlamış olan tasarım felsefe ve metodolojisine yönelik kapsamlı bir analiz sunmaktadır. Malzeme yenilikleri, teknolojik gelişmeler ve inşaatın somut gerçekleriyle şekillenen mesleki kariyeri boyunca strüktürel mantık ve matematiksel optimizasyonu teknik birer araç olmanın ötesinde, mimari formun ve estetik niteliğin birincil üreteçleri olarak kullanan Nervi'nin önde gelen projelerinden oluşan bir katalog üzerinden gerçekleştirilen tarihsel-kuramsal bir analiz, kariyerindeki önemli evreleri ve yenilikçi tekniklerinin gelişimini irdelemektedir. Bu bağlamda Nervi'nin strüktürel ifadesinin evrimi takip eden çalışma, teknik kısıtlamaları sanatsal bir ifade gücüne dönüştüren bütüncül yaklaşımının ilkelerini ortaya koymayı ve bu ilkelerin ekonomi, teknoloji ve estetik arasındaki ilişkiyle mücadelesini sürdüren çağdaş mimarlık söylemindeki geçerliliğini gündeme taşımayı hedeflemektedir.

Anahtar Kelimeler: Nervi, matematik, estetik, yapısal dışavurumculuk.

ABSTRACT

The Integration of Mathematics and Aesthetics in Pier Luigi Nervi's Buildings

Kayahan HOROZ

Department of Architecture
Master of Science Thesis

Supervisor: Prof. Dr. Nur URFALIOĞLU

The history of architecture has been shaped by an ongoing dialogue between structural requirements and aesthetic pursuits, with the language of this dialogue constantly evolving from the symbolic proportional systems of antiquity to the performance-driven geometries of the modern era. Following the Industrial Revolution, increasingly complex design requirements driven by new materials and theories fostered an appreciation for structural efficiency, material honesty, and forms derived from the laws of physics. It was in this period that the figure of the "architect-engineer" emerged as a modern master builder who integrated creative vision with technical competence. Pier Luigi Nervi, perhaps the most significant representative of this practice, shaped his career by using the expressive potential of reinforced concrete to create structures of unprecedented scale and elegance.

Advocating that structural, functional, and economic correctness constituted both necessary and sufficient conditions for architectural beauty, Nervi encapsulated this philosophy in his principle of *"costruire correttamente"* (building correctly). This thesis examines the process through which Nervi created a unique structural

architecture by integrating mathematical principles with aesthetic expression, offering a comprehensive analysis of his design philosophy and methodology that redefined the boundaries between art and science. Through a historical-theoretical analysis of Nervi's prominent projects, this study investigates the significant phases of his career and the development of his innovative techniques across a professional trajectory shaped by material innovations, technological developments, and the concrete realities of construction. This analysis demonstrates how he employed structural logic and mathematical optimization not merely as technical tools, but as primary generators of architectural form and aesthetic quality. By tracing the evolution of Nervi's structural expression, this study aims to articulate the principles of his holistic approach that transformed technical constraints into a powerful artistic expression, and to bring forth the enduring relevance of these principles within contemporary architectural discourse, which continues to grapple with the relationship between economy, technology, and aesthetics.

Keywords: Nervi, mathematics, aesthetics, structural expressionalism.

1
GİRİŞ

Mimarlık tarihi boyunca strüktürel gereksinimler ile estetik form arayışı arasındaki sinerjinin hiçbir zaman durağan olmayan doğası, antik çağ ve Rönesans döneminin sembolik oran sistemlerinden modern çağın performans odaklı estetik anlayışına doğru sürekli bir evrim geçirmiştir. Endüstri Devrimi ile onu izleyen modernist dönem boyunca yeni malzemelerin yanısıra yeni mimari kuramların da ortaya çıkışı, strüktürel verimlilik, malzemeye sadakat ve fizik yasalarından türetilen formun ifade potansiyeline dayanan yeni bir estetik anlayışı beraberinde getirmiştir.

Bu evrim, yaratıcı vizyonu teknik yetkinlikle birleştiren modern bir usta yapıcı olarak "mimar-mühendis" figürünü ortaya çıkarmıştır. Bu bütünleşik pratiğin belki de en önemli temsilcisi olan Pier Luigi Nervi'nin mesleki kariyeri, betonarmenin ifade potansiyelinin henüz keşfedilmekte olduğu bir dönemde şekillenmiş ve o da bu potansiyeli daha önce görülmemiş bir ölçek ve zarafete sahip yapılar yaratmak için kullanmıştır. Eserleri, tasarıma yönelik titiz ve matematiksel bir yaklaşımın mühendislik ile sanat arasındaki sözde çatışmayı çözerek, son derece etkileyici ve bir o kadar da işlevsel mekanlar ortaya çıkarabildiğini göstermiştir. Dolayısıyla, Nervi'nin metodolojik yaklaşımının incelenmesi, strüktürel mantığın mimari söylemi biçimlendirmedeki belirleyici rolünü kavrayabilmek açısından önemlidir ve bu kavrayışın çağdaş mimarlık kuram ve pratiğinde sürdürdüğü etkinlik, konunun kalıcı değerini ortaya koymaktadır.

1.1 Tezin Amacı, Kapsamı ve Yöntemi

Pier Luigi Nervi'nin matematiksel ilkeleri estetik ifadeyle bütünleştirmek yoluyla özgün bir strüktürel mimari yaratma sürecini inceleyen bu çalışma, Nervi'nin

eserlerine yönelik salt teknik veya tarihsel bir değerlendirmenin ötesine geçerek, tasarım sürecinin fikirsel ve metodolojik temellerini araştırmayı hedeflemektedir.

Bu doğrultuda çalışma, Nervi'nin strüktürel mantık ve matematiksel optimizasyonu yalnızca teknik birer araç olarak değil, aynı zamanda mimari formun ve estetik niteliğin birincil üreteçleri olarak da kullanımını analiz etmeyi amaçlamaktadır. Çalışma ayrıca, onun strüktürel ifade ve estetik duyarlılık sentezinin malzeme araştırmaları, teknolojik gelişmeler ve pratik deneyimlerle zaman içerisinde nasıl şekillendiğini irdeleyerek, tasarım metodolojisinin evrimini takip etmeyi hedeflemektedir. Araştırma kapsamında, özellikle "ferroçimento" ve "strüktürel prefabrikasyon" tekniklerinin geliştirilmesi gibi, Nervi'nin özgün mimari formlarını ve inşaat verimliliğini mümkün kılan malzeme yeniliklerinin kritik rolü de araştırılacaktır. Son olarak, maliyet etkinliği arayışının bu yenilikçi yaklaşımlardaki katalizör görevi ele alınarak, ekonomik etkenlerin tasarım çözümleri üzerindeki etkisi incelenecektir.

Önde gelen projelerinden oluşan bir kataloğu analiz ederek, onun mimarlık sanatı ile mühendislik bilimi arasındaki disipliner boşluğu başarıyla kapatan bir "mimar-mühendis" olarak rolünü ortaya koymayı amaçlayan bu çalışma, nihayetinde Nervi'nin bütüncül yaklaşımının ilkelerini ortaya koymayı ve ekonomi, teknoloji ve estetik arasındaki ilişkiyle mücadelesi süren çağdaş mimarlık söylemindeki geçerliliğini gündeme taşımayı hedeflemektedir.

Tezin kapsamı, tematik olarak Nervi'nin eserlerindeki matematik, estetik ve yapı mühendisliğinin kesişimine odaklanmaktadır. Araştırma, mimaride matematiksel ilkelerin antik çağdan modern döneme kadar evrimini takip eden ikinci bölümde ortaya konan tarihsel ve kuramsal çerçeveye oturtulmuştur.

Çalışmanın özünü, Nervi'nin 1925 ile 1971 yılları arasında inşa edilmiş 15 seçkin projesinden oluşan bir kataloğun ayrıntılı analizi oluşturmaktadır. Tüm eserlerini kapsamaktan ziyade temsil edici nitelikte olması hedeflenen bu seçki, stadyumlar, sergi salonları, fabrikalar ve dini yapılar gibi çeşitli yapı türlerini içermektedir. Kariyerindeki önemli evreleri ve strüktürel prefabrikasyon ile ferroçimento kullanımı gibi yenilikçi tekniklerinin gelişimini izlemek amacıyla seçilmiş olan bu yapılar, aynı zamanda uluslararası literatürde üzerinde en fazla çalışma bulunan Nervi eserleridir.

Araştırma, coğrafi olarak Nervi'nin İtalyan mimarisine yaptığı katkıları merkeze almakla birlikte, yöntemlerinin küresel ölçekteki etkileriyle önde gelen uygulamalarını ortaya koymak amacıyla Fransa ve Amerika Birleşik Devletleri'ndeki önemli uluslararası projelerini de içermektedir.

Bu tez, Pier Luigi Nervi'nin tam bir biyografisini oluşturmayı ya da inşa edilmiş ve edilmemiş tüm çalışmalarının kapsamlı bir dökümünü çıkarmayı amaçlamamaktadır. Seçilen projeler, matematiksel optimizasyon, malzeme özellikleri, inşaat teknolojisi ve ekonomik faktörlerin hep birlikte şekillendirdiği özgün bir strüktürel estetik perspektifinden incelenecektir.

Çalışmada tarihsel-kuramsal bir derlemeyi yorumlayan ve karşılaştırmalı bir vaka analizi ile birleştiren nitel bir araştırma yöntemi izlenmiştir. Araştırmanın ilk aşaması olan kuramsal çerçevenin oluşturulması, tarihsel ve kuramsal bağlamı ortaya koymak amacıyla birincil ve ikincil kaynakların kapsamlı bir literatür taramasını içermektedir. Birincil kaynaklar, Nervi'nin tasarım felsefesine ve niyetlerine doğrudan ışık tutan kendi yazı ve derslerinden oluşmaktadır. İkincil kaynaklar ise, mimarlıkta matematik ve estetik arasındaki geniş diyaloğu antik çağdan 20. yüzyıla uzanan bir çerçevede ele almak için kullanılan bilimsel kitaplar, akademik dergiler ve mimarlık tarihi ile yapı teorisine ilişkin eleştirel analizleri kapsamaktadır.

Araştırmanın çekirdeğini oluşturan ikinci aşama, katalogda sunulan 15 seçilmiş projenin sistematik analizine dayanır. Bu analiz, her bir vaka için mimari çizimler, tarihsel ve güncel fotoğraflar ile literatürdeki ayrıntılı proje tanımları gibi çeşitli görsel ve metinsel kanıtları incelemektedir. Her proje, işlevsel gereksinimleri, strüktürel sistemi, malzeme uygulaması, inşaat teknikleri ve sonuçta ortaya çıkan estetik ifade arasındaki ilişki açısından analiz edilmiştir.

Tekil vaka analizlerinden elde edilen bulguların sentezlendiği son aşamada, Nervi'nin yapısal ifadesinin kronolojik evrimini takip etmek ve tasarım metodolojisindeki tekrar eden ilkeleri belirlemek için karşılaştırmalı bir analiz yöntemi kullanılmıştır. Bu sentez, değerlendirme ve sonuç bölümlerinde sunulan argümanların temelini oluşturarak, Nervi'nin "mimar-mühendis" rolünün ve eserlerinin süregelen öneminin bütüncül bir değerlendirmesini yapmaya olanak tanımaktadır.

1.2 Literatür Özeti

Nervi üzerine yapılan çalışmalar, mimarlık tarihi, yapı mühendisliği ve estetik kuramının kesişim noktasında yer alan oldukça geniş bir literatürü kapsamaktadır. Bu tezin temelini oluşturan kaynaklar, çalışmanın yapısal kurgusu doğrultusunda üç ana başlık altında toplanabilir; mimarlıkta matematik ve estetik arasındaki tarihsel diyalog, strüktürel rasyonalizm ve dışavurumculuğun kuramsal gelişimi, Nervi'nin kariyerine yönelik özgün monografik ve eleştirel analizler.

Bu bağlamda, kapsamlı bir tarihsel çerçeve oluşturan ve matematiksel ilkeler ile mimari güzellik arasındaki süregelen ilişkiyi araştıran çok zengin bir akademik birikim bulunmaktadır. Rudolf Wittkower'in *Architectural Principles in the Age of Humanism*'i gibi temel metinler, antik çağın klasik oran sistemlerini yeniden canlandıran Rönesans'a yönelik eleştirel bir analiz sunarak, güzellik kavramını harmonik ve matematiksel olarak türetilmiş oranlara dayandırmaktadır. Formun, altta yatan geometrik veya aritmetik bir düzene tabi olduğu bu yapı sanatı geleneğinin izleri, Vitruvius'un *De Architectura*'sı aracılığıyla antik çağa kadar sürülebilmektedir. Corrado Rossi'nin *Architecture and Mathematics in Ancient Egypt*'i gibi daha güncel çalışmalar ise, antik çağın büyük yapılarında matematiğin teknik ve sembolik rolünü daha da detaylandırmaktadır. Bu diyaloğun modern çağa evrimi, Harry Francis Mallgrave'in *Modern Arcitectural Theory*'si gibi kapsamlı çalışmalarla izlenmektedir. Bu eserler, sembolik orandan daha işlevsel ve psikolojik bir form anlayışına doğru yaşanan felsefi değişimi belgelemekte ve modernist mimarinin tarihsel üsluplardan koparak, yeni ilkelere dayalı bir estetiğe yönelişini anlamak için gerekli zemini oluşturmaktadır.

Çalışmanın yöneldiği ikinci literatür alanı, Endüstri Devrimi'nin biçimlendirdiği 19. ve 20. yüzyıl başlarında, özgün bir strüktürel estetiğin ortaya çıkışıyla ilgilidir. "Yapısal dürüstlük" ve "malzemeye sadakat" ilkelerinin kuramsal temelleri, bu dönemde Augustus Pugin, John Ruskin ve Eugène Emmanuel Viollet-le-Duc gibi düşünürler tarafından atılmıştır. Viollet-le-Duc'ün Gotik mimariye dair kapsamlı bir rasyonalist yoruma da yer verdiği *Entretiens sur l'architecture* isimli iki ciltlik eserinde savunduğu ve mimari formun, inşa tekniği ile kullanılan malzemelerin doğrudan ve mantıksal bir ifadesi olması gerektiği yönündeki düşünceleri, zamanla modernizmin temel taşlarından biri haline gelmiştir. Karl-Eugen Kurrer'in ansiklopedik eseri *The History of the Theory of Structures*, Galileo'nun erken

dönem analizlerinden elastisite teorisi ve grafik statiğin gelişimine kadar uzanan ve mimarlar ile mühendislere formu matematiksel bir hassasiyetle optimize etme olanağı sağlayan analitik araçları detaylandırmaktadır. Bill Addis'in *Building: 3000 Years of Design Engineering and Construction*'ı ve Jacques Heyman'ın *Structural Analysis*'i gibi strüktür mühendisliği üzerine yazılmış kapsamlı tarihçeler, Endüstri Devrimi ile birlikte ampirik yapı geleneklerinden kuramsal mekanik ve malzeme bilimine dayanan bilimsel bir disipline geçişi belgelemektedir. David Billington'ın çığır açan eseri *The Tower and the Bridge*, bu gelişmeleri "strüktürel sanat" kavramı altında sentezlemektedir. Bu eser, temel değerlerini verimlilik, ekonomi ve zarafet olarak belirlediği, öncelikle Robert Maillart ve Gustave Eiffel gibi mühendislerin başyapıtlarından oluşan yeni bir sanat dalı tanımlamakta ve Pier Luigi Nervi'yi de bir "strüktür sanatçısı" olarak konumlandırmaktadır.

Üçüncü olarak, doğrudan Nervi'ye odaklanan literatür, bu çalışmanın kendi bağlamını oluşturmaktadır. Ada Louise Huxtable'ın etkili eseri *Pier Luigi Nervi* gibi erken dönem çalışmalar, onu uluslararası camiaya mimarlık ve mühendislik arasındaki boşluğu dolduran modern bir "usta yapıcı" olarak tanıtmıştır. Bu bakış açısı, zengin bir çağdaş İtalyan literatürü tarafından derinleştirilmiş ve detaylandırılmıştır. Tullia Iori, Sergio Poretti, Roberto Gargiani ve Gabriele Neri'nin çalışmaları, Nervi'nin mesleki kariyeri, projeleri ve teknik yeniliklerinin evrimi üzerine kapsamlı arşiv araştırmaları sunmaktadır. Bu çalışmalar, onun imzası haline gelen "ferroçimento" ve "strüktürel prefabrikasyon" gibi tekniklerin gelişimini titizlikle belgelemekte ve bu yenilikleri İkinci Dünya Savaşı öncesi ve sonrası İtalya'sının özgün ekonomik ve politik bağlamına oturtmaktadır. Nervi'nin kendi kaleminden çıkan, özellikle *Scienza o arte del costruire?* ve *Aesthetics and Technology in Building* başlıklı eserleri, onun temel felsefesini ortaya koyan birincil kaynaklardır. Bu metinlerde Nervi, saf hesaplamaya karşı "statik sezgi"ye vurgu yapmakta, strüktürel ve estetik geçerliliğin yegane kaynağı olarak "doğru inşa etme" ilkesini savunmaktadır. Gargiani'nin Alberto Bologna ile birlikte kaleme aldığı *The Rhetoric of Pier Luigi Nervi*'si ve Thomas Leslie'nin *Beauty's Rigor*'u gibi daha güncel analizler ise, üretim örüntülerine ve Nervi'nin tasarım yöntemleri ile inşa edilmiş eserleri arasındaki karşılıklı ilişkiye odaklanarak, inşaat süreçlerinden doğan estetik formlara vurgu yapmaktadır.

Mevcut literatür ile Nervi'nin teknik başarıları, biyografisi ve önde gelen projeleri kapsamlı bir biçimde belgelemiş olsa da, metodolojisinin sentezine ve evrimine odaklanan daha bütüncül bir analize ihtiyaç bulunmaktadır. Dolayısıyla, onun inşaat yöntemlerine, mühendislik yeniliklerine ve mimari formlarına birbiriyle ilişkili, ancak ayrı konular olarak odaklanan mevcut çalışmalardan yola çıkan bu tez, matematiksel mantık, estetik ifade, malzeme özellikleri ve ekonomik baskıların Nervi için sadece paralel kaygılar değil, tasarım sürecinin ayrılmaz bileşenleri olduğunu göstermek amacıyla, sistematik ve bütünleşik bir analiz sunmaktadır.

2
MİMARİDE MATEMATİK VE ESTETİK

Matematik ile mimari estetik arasındaki ilişki, yapılı çevrenin tarihi boyunca süregelen en kalıcı ve karmaşık diyaloglardan birini temsil etmektedir. Teknik gerekliliklerin ötesine geçen bu temel ilişki, antik çağlardan günümüze kadar mimari düşünceye rehberlik eden felsefi bir çerçeve olarak ortaya çıkmıştır. Matematiksel ilkelerin estetik duyarlılıkla bütünleşmesi yalnızca işlevsel yapılar üretmekle kalmamış, aynı zamanda mimari güzelliğin farklı perspektiflerine de zemin hazırlamıştır (Falter, 2015).

İlişkinin bu ikili doğası, özellikle Nervi gibi tasarım yaklaşımında teknik yeniliği estetik duyarlılıkla sentezleyen mimar-mühendislerin çalışmalarında belirgin bir biçimde gözlemlenmektedir. Dolayısıyla, bir tasarım metodolojisi olarak matematik ile estetiği bütünleştiren çalışmaların incelenmesi, yapısal yeniliklerin tarihsel süreçte mimari dile nasıl entegre edildiğini anlamak açısından özellikle önem taşımaktadır.

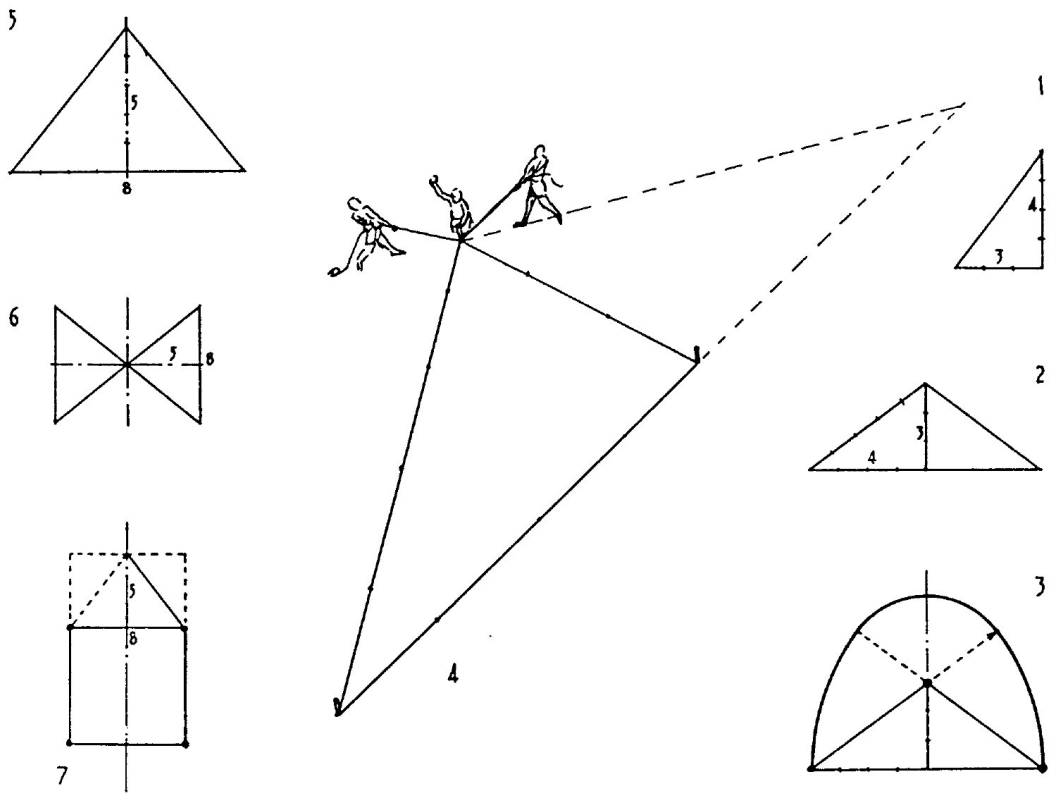
2.1 Antik Çağdan Endüstri Devrimine

Mimaride matematiksel bir güzellik arayışı, evrenin kendisinin matematiksel ilkelere göre işlediği ve insan yapımı strüktürlerin de bu evrensel düzeni yansıtması gerektiği yönündeki köklü bir inançtan kaynaklanmaktadır. Batı düşüncesinde ilk kez Pisagorcular tarafından dile getirilen bu inanç, modern döneme kadar mimari düşünceyi etkilemeye devam edecek kuramsal bir zemin oluşturmuştur. Sayıyı her şeyin temeli olarak gören Pisagorcu anlayış, mimari ifadesini kozmik uyumu somutlaştırdığına inanılan oransal sistemlerde bulmuştur (Celenza, 1999).

Pisagor öğretisinin kaynağını, kendisinin öğrenme arayışında uzun yıllar geçirdiği Mısır tapınaklarından beraberinde getirdiği ezoterik geometri sisteminde bulan

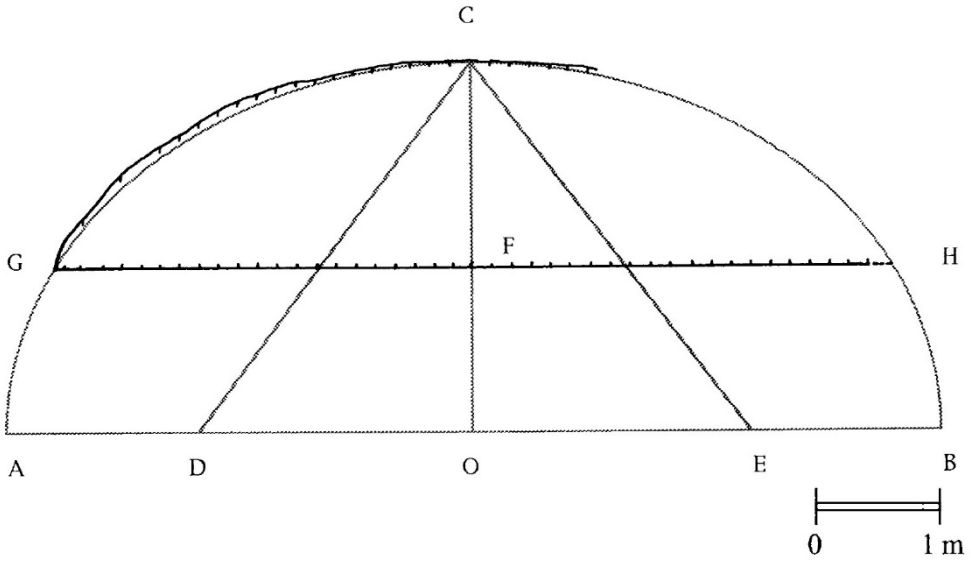
yaklaşım (Brunes, 1967, ss. 9-18) spekülatif olsa da, Pisagor'dan en az 2000 yıl önce matematiksel kesinlik ile estetik algı arasında bir köprü kuran saf geometrik formları ile antik Mısır'ın güç ve ihtişam simgeleri olan piramitlerin yansıttığı mühendislik becerisi, aynı zamanda insanoğlunun özellikle büyük ölçeklerdeki basit geometrik formlara duyduğu ilginin bir göstergesidir (Wassell, 2015, s. 71).

Piramitlerin yüzey eğimini *seked* olarak adlandırdıkları bir oran ile ifade eden Mısırlılar, bu oranı kullanarak taban uzunluğundan yüksekliği, ya da yükseklikten taban uzunluğunu bulabildikleri gibi, inşa edecekleri piramidin hacmini de bu yolla hesaplamışlardır (Rossi, 2007, s. 185). Seked hesaplamaları için anıtsal yapıların inşa edilmeye başlandığı Eski Krallık döneminden itibaren piramit inşaatlarında pratik birer araç olarak kullanılmış olan dik üçgenlerden yararlanılmıştır (Şekil 2.1). "Rhind Papirüsü" olarak bilinen bir antik Mısır belgesinde verilen oranlara göre oluşan üçgen, 21-28-35 parmak kenarları olan bir dik üçgendir ki, bu da aslında klasik 3-4-5 üçgenine karşılık gelmektedir (Schneider, 2015, s. 99).



Şekil 2.1 Antik Mısır'da 3-4-5 üçgeni dik açının yanında, farklı geometrik şekillerin elde edilmesi için de kullanılmıştır (Rossi, 2007, s. 44).

Eşit aralıklarla 12 parçaya bölünüp uçları birleştirilmiş bir ip sayesinde sahada kolaylıkla oluşturulabilen bu dik üçgen, Eski Krallık döneminde en az sekiz piramidin eğimini belirlemenin yanısıra, dik açının gerekli olduğu her durumda başvurulan temel bir araç olmuştur (Rossi, 2007, ss. 64-71). Bununla birlikte, 3-4-5 üçgeninin farklı geometrik formları biçimlendirmek için de kullanılmış olması, inşaat alanında sürekli el altında bulunan bir aracın anlık ihtiyaçlara cevap vermek üzere pratik kullanımına işaret edebileceği gibi, sözkonusu dik üçgenin antik Mısır mimarisi için taşıdığı olası sembolik değerle de ilişkilendirilebilir. Uygulamanın somut bir örneği olarak, Georges Daressy tarafından Krallar Vadisi'nde keşfedilen Yirminci Hanedan dönemine ait eliptik tonoz çizimi oldukça önemli bir arkeolojik bulgudur. VI. Ramses'in mezarının hemen dışında, kaya üzerine kazınmış olan bu çizim, mezar odasını kaplayan eliptik tonozun ana hatlarını ortaya koymaktadır (Şekil 2.2).



Şekil 2.2 VI. Ramses'in mezar odasının tonozuna ait eliptik eğrinin kaya üzerine kazınmış çizimi (Rossi, 2007, s. 114).

Eliptik tonozun D ve E olarak işaretlenmiş iki odak noktasının konumu ve elipsin orantıları 3-4-5 üçgeni yardımıyla belirlenmiştir. Daressy, COD ve COE olarak adlandırdığı üçgenlerin kenarlarının 4 kübit, 5 ⅓ kübit ve 6 ⅔ kübit uzunluğunda olduğunu not etmiştir; bu ölçüler 3, 4 ve 5 sayılarının 1 ⅓ ile çarpılmasıyla elde edilen değerlere karşılık gelmektedir. Bu durum, bir yandan Mısırlıların 3-4-5 üçgenini yalnızca dik açıları çizmek için kullanmadığını ortaya koyarken, diğer

yandan da kenarlar arasındaki orantıları sabit tutmak kaydıyla boyutları değiştirerek benzer üçgenler elde edilebileceğinin farkında olduklarını göstermektedir.

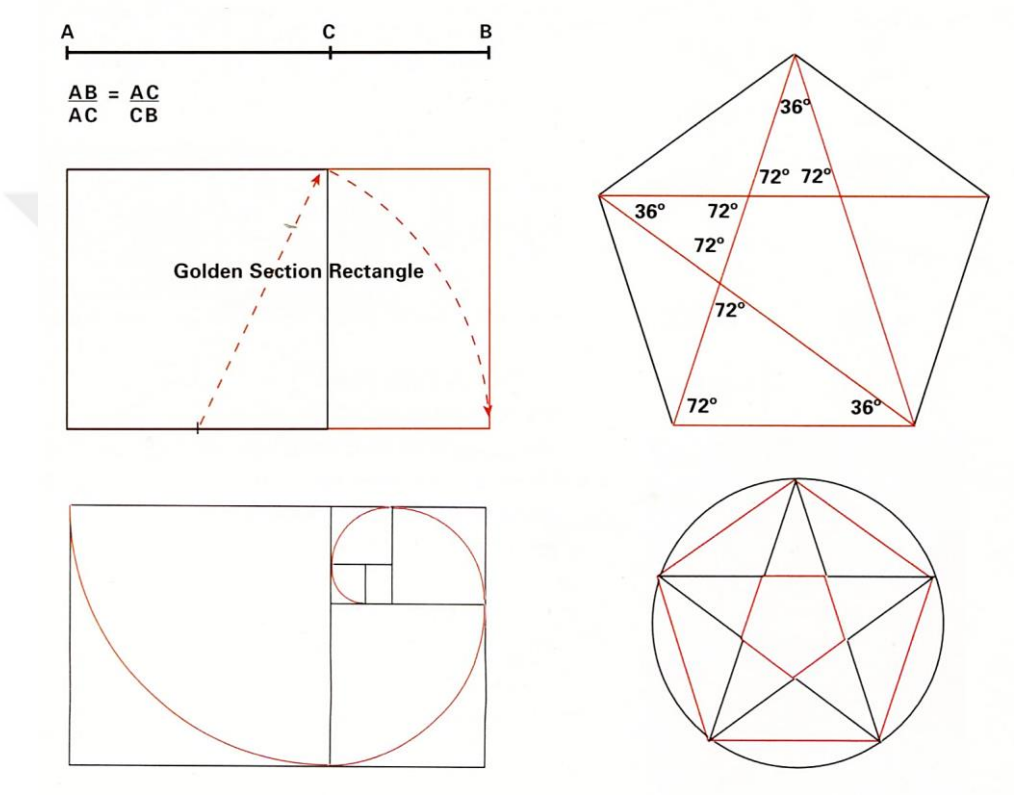
Daressy, çizimdeki elipsin muhtemelen önce ipler ve kazıklar yardımıyla zemine çizildiğini, daha sonra ölçülendirilerek duvara aktarıldığını tespit etmiştir. Yatay eksendeki çizgi eşit aralıklara bölünmüş, karşılıkları da eliptik eğri üzerinde işaretlenmiştir. Böylece, belirlenmiş aralıklar boyunca eğrinin yükselişi ölçülerek mezarın içine aktarılabilmesi sağlanmıştır. VI. Ramses'in mezarından 1500 yıl önce, Üçüncü Hanedan döneminde Sakkara'da inşa edilmiş olan Basamaklı Piramit yakınlarında bulunan bir kireçtaşı plakanın üzerine çizilmiş bir eğrinin de benzer biçimde eşit aralıklı dikey çizgilerle bölmelendirilmiş ve her bir bölümüne yükseklik ölçüsünün yazılmış olması, bu yöntemin antik Mısır mimarisindeki köklü geçmişine ve yaygın kullanımınına işaret etmektedir (Rossi, 2007, ss. 114-115). Sembolizm, estetik ve teknik becerinin dikkat çekici bir uyum içerisinde sentezlendiği bu kadim mimari geleneğin uygulayıcıları, inşa ettikleri tüm anıtsal eserlerde kesinlik ve hassasiyete büyük önem vermiş, devasa taş bloklar arasında kusursuz birleşimler planlamış ve gerçekleştirmişlerdir.

Yapı teknolojileri geliştikçe, matematiğin mimarideki ifadesi de basit oransal ilişkilerden karmaşık geometrik sistemlere doğru evrilmiştir. Bu gelişim doğrusal olmaktan ziyade döngüsel bir nitelik taşımış, farklı dönemler kendi kültürel ve teknolojik bağlamlarına göre matematiksel güzelliğin çeşitli yönlerini vurgulamıştır. Dolayısıyla, mimaride matematiksel oranların evrimi salt teknik bir gelişme olmanın ötesinde, insanoğlunun mimari güzelliği anlama ve yaratma süreçlerinin temel bir yönünü temsil etmektedir.

Antik Yunan sanatında ilk olarak Polikleitos bir nesnenin güzelliğinin, onu oluşturan parçalardaki oranlardan kaynaklandığını ifade etmiştir. Bu düşünceyi sanatın dışına taşıyan Hrissippos, güzelliği parçaların birbirleriyle ve bütünle uyumu olarak tanımlayan klasik estetik anlayışı ortaya koymuştur. Böylece, oran antik Yunan sanatının kurucu öğesi olmanın ötesine geçip, güzelliğin özünü kavramaya yönelik felsefi arayışta yerini almıştır (Wassell, 2015, s. 72).

Oranlar üzerindeki çalışmalar, antik Yunan matematiğinin temel araştırma alanlarından biri olmuştur. Pisagor okulu, hesaplama zorluklarını aşmak ya da geleneği sürdürmek adına $\sqrt{2}$ sayısını 7/5, 10/7 veya 17/12 gibi oransal

yaklaşıklıklarla ifade etmiş, Arşimet de π sayısının gerçek değerinin $3^{10}/_{71}$ ile $3^{10}/_{70}$ arasında olduğunu hesaplamıştır. Günümüzde "altın oran" olarak adlandırılan kavram da, erken dönemlerinden itibaren Yunan matematiğinde "uç ve orta oran" adıyla bilinmektedir (Şekil 2.3). Öklid, oranlarla ilgili çok sayıda hesaplamaya yer verdiği *Öğeler* isimli eserinde bu oranı şu şekilde tanımlamıştır: "Bir doğru parçası, bütünün büyük parçaya oranı ile büyük parçanın küçük parçaya oranı eşit olduğunda, uç ve orta oranda bölünmüş kabul edilir." (Wassell, 2015, s. 73)

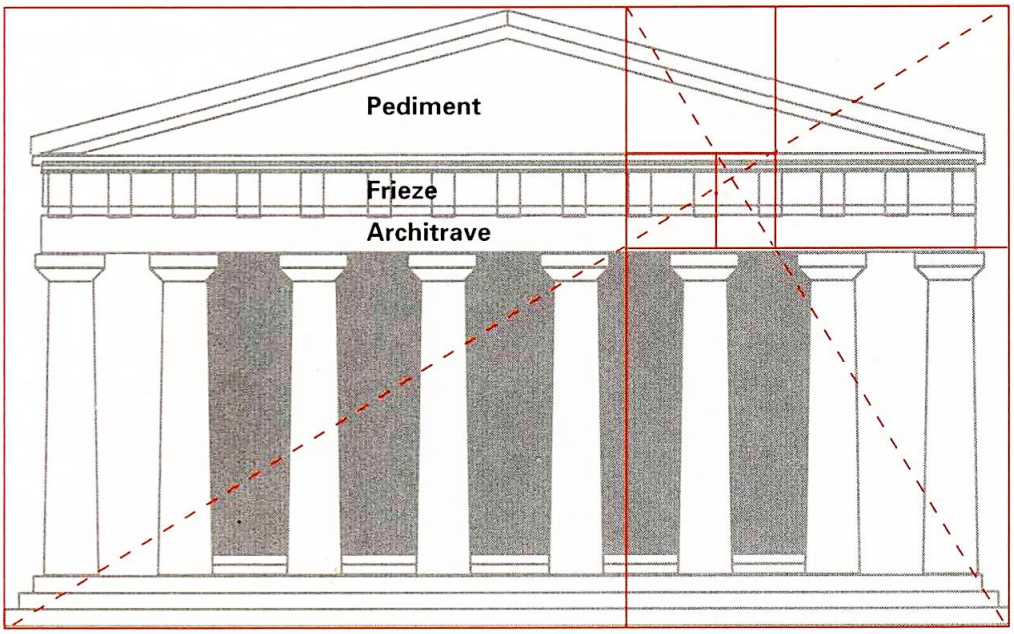


Şekil 2.3 Öklid'in tanımıyla "uç ve orta oran", farklı geometrik uygulamalarıyla antik Yunan'dan günümüze kadar ilgi odağı olmuştur (Elam, 2001, ss. 9-30).

Bu matematiksel yapıya ilişkin tarihsel referansların oldukça sınırlı oluşu, Yunan sanatı ve mimarisinde altın oranın yaygın kullanımını iddia eden çok sayıdaki çalışmanın güvenilirliğini sorgulanır hale getirmiştir. Konuya ilişkin tartışmalar sürmekle birlikte, çağdaş sanat tarihçilerinin önemli bir bölümü, altın oranın ikinci binyıldan önce sanat ve mimarlık alanlarında belirleyici bir etken olduğu düşüncesini kesin bir dille reddetmektedir. Bu tarihçiler, günümüzde yapılan kimi yorumların, modern estetik anlayışını antik döneme yansıtma eğiliminden kaynaklandığını öne sürmektedir (Wassell, 2015, ss. 73-74).

Bununla birlikte, altın oranın yalnızca insanın estetik algısına bağlı bir tercih olmadığı, aynı zamanda bitki ve hayvanların büyüme kalıplarında yer alan dikkate değer bir oran olduğu, esasen insan bedeninin de bu oranları taşıdığı ve altın orana yönelik bilişsel tercihin bir anlamda insanın çevresindeki diğer canlılarla paylaştığı bu oranın evrenselliğinden kaynaklandığı düşüncesi, sanatın tüm alanlarıyla birlikte mimaride de altın oranın en eski dönemlerden itibaren tasarımın içkin bir unsuru olduğu iddiasını beraberinde getirmiştir (Elam, 2001, ss. 8-12).

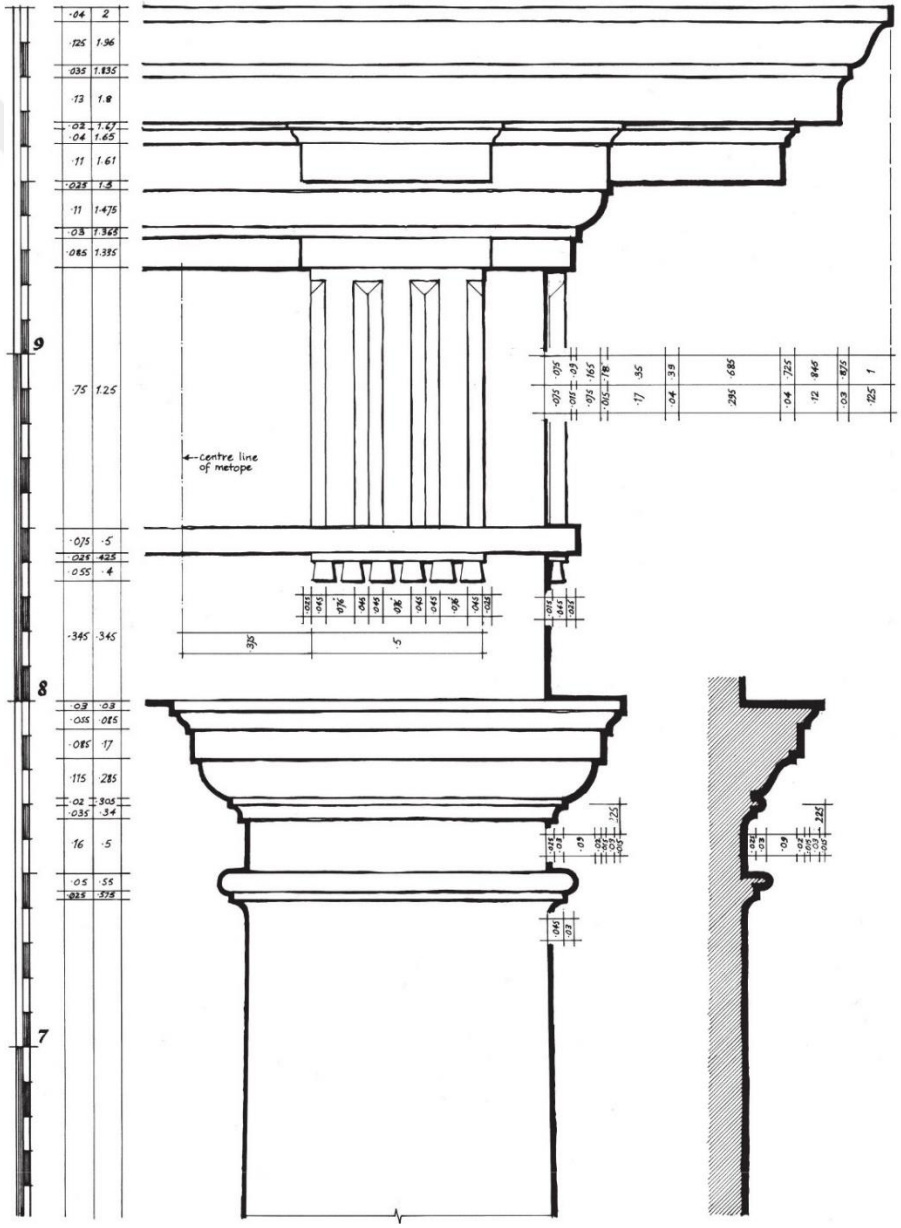
Bu anlamda Parthenon da sıklıkla altın oran yönünden incelemelere konu olmuştur. Aşağıdaki analizde, Parthenon'un ön cephesi bir altın dikdörtgen içerisine yerleştirilmiştir (Şekil 2.4). Kendisi de bir altın dikdörtgen olan küçük parçadan elde edilen üçüncü altın dikdörtgen arşitravın başlangıç hattını, buradan devam ile ulaşılan beşinci altın dikdörtgen ise alınlığın başlangıç hattını işaret etmektedir.



Şekil 2.4 Parthenon'un ön cephesi bir altın dikdörtgene yerleştirildiğinde, arşitrav, friz ve alınlık da altın dikdörtgenlere oturmaktadır (Elam, 2001, s. 20).

Oransal hesaplamaların yanısıra, antik Yunan metafizik düşüncesi de sanat ve matematik arasındaki ilişkiler bağlamında sonraki kültürleri derinden etkilemiştir. Sayılara cinsiyet atfetme geleneği, mükemmel sayılara, üçgensel ve karesel sayılara gösterilen olağanüstü ilgi ve sayılara belirli nitelikler yükleme eğilimi, Pisagorcu matematik anlayışının ayrılmaz parçaları olmuştur. Plato'nun evrensel gerçekleri keşfetmenin vazgeçilmez bir aracı olarak gördüğü matematiği metafizik bağlamda kullanma yaklaşımı da bu Pisagorcu geleneğin bir devamıdır (Wassell, 2015, s. 74).

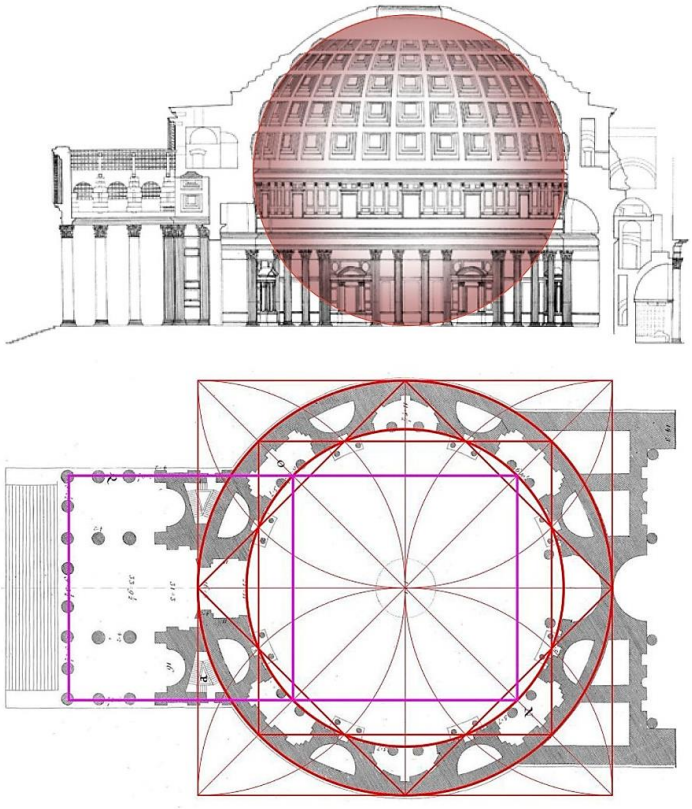
Öte yandan, Yunan uygarlığının oransal sistemlere getirdiği incelikli yaklaşım, mimari matematiğin gelişiminde önemli bir aşamayı yansıtmaktadır. Dor, İyon ve Korint düzenleri, mimari öğeler arasındaki kesin matematiksel oranlara dayalı olarak biçimlenmiştir (Şekil 2.5). Özellikle Dor düzeninin evrimi, oransal düşüncenin gelişimini açıkça göstermektedir. Olympia'daki Hera Tapınağı (yaklaşık MÖ 590) gibi erken dönem yapıları görece basit oransal ilişkiler sergilerken, Parthenon (MÖ 447-432) gibi daha sonraki örnekler *entasis* olarak bilinen incelikli optik iyileştirmelerin de dahil edildiği, daha karmaşık matematiksel ilişkiler ortaya koymaktadır (Chitham, 2005, ss. 30-32).



Şekil 2.5 Boyu çapının 8 katı olan bir Dor sütununda 2 çap yüksekliğindeki saçaklığın oransal ölçeklendirmesi (Chitham, 2005, s. 65)

Vitruvius da, özellikle tapınak mimarisinde simetri ve orantının önemini vurgulamıştır. Yunanca *analogia* kavramından türetilen bu ilkelerin uyumlu yapılar inşa etmek için vazgeçilmez olduğunu savunan Vitruvius, insan vücudundaki oransal ilişkilere (örneğin, yüzün toplam boyun onda biri, ayağın ise altıda biri olması gibi) benzer şekilde, bir tapınağın öğelerinin de bütünle orantılı bir ilişki içinde bulunması gerektiğinin altını çizmiştir. Vitruvius, insan bedenini model alan ve göbeği merkez nokta olarak belirleyen bir geometride insan oranlarından hem dairesel, hem de kare biçimlerin türetilebileceğini ifade etmiş ve tapınakların kalıcı doğasının bilincinde olan antik çağ mimarlarının da, eserlerini mükemmel hale getirmek için bu simetri ve oran ilkelerini titizlikle uyguladıkları sonucuna varmıştır (Vitruvius, 2021, ss. 50-51).

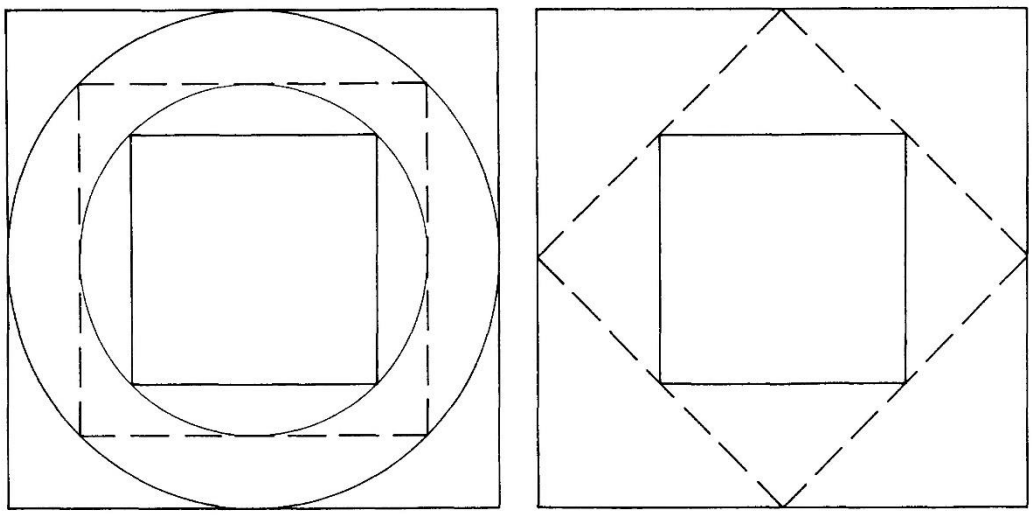
Roma mimarisi, beton yapım tekniklerinin sağladığı yeni strüktürel olanakları kullanarak Yunan oransal sistemlerini geliştirip zenginleştirmiştir. Romalılar, özellikle kubbeli yapıların tasarımında yenilikçi mekansal formları destekleyecek daha karmaşık geometrik ilişkiler geliştirmişlerdir (Thomas, 2018, s. 53). Roma'daki Pantheon bu ilerlemenin en gözalıcı örneğidir (Şekil 2.6).



Şekil 2.6 Pantheon, içerisine küre yerleştirilebilecek bir iç hacme ve geometrik oranlarla oluşturulmuş bir plana sahiptir (Fletcher, 2019, s. 340).

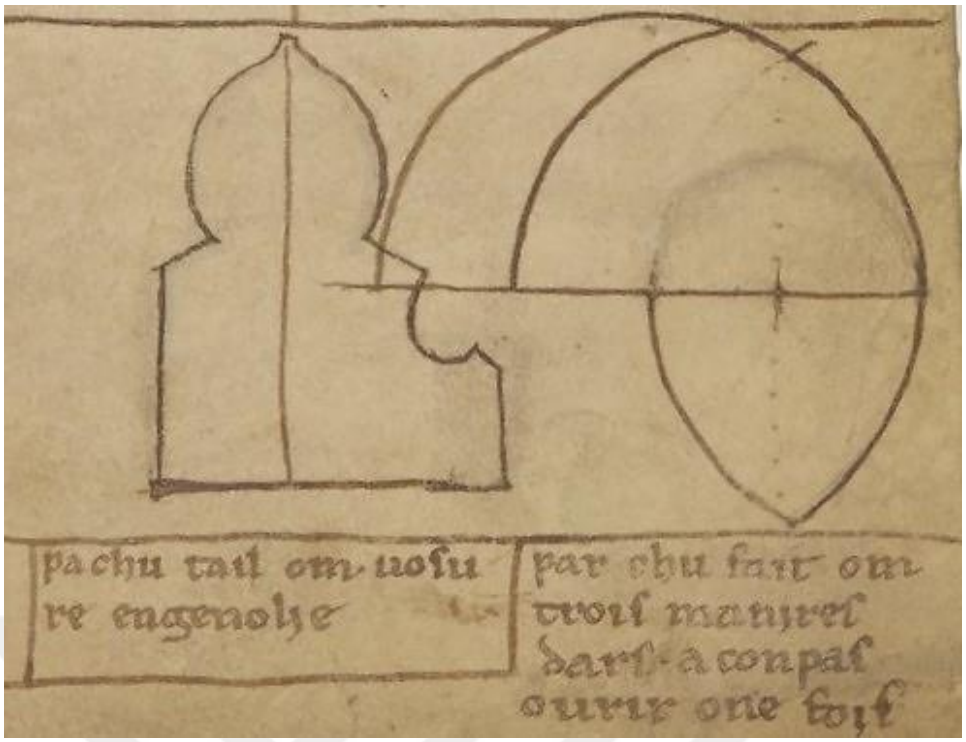
Yapının mükemmel küresel iç hacmi, kesin oransal ilişkilerle matematiksel bir denge içerisinde kurgulanmıştır. Bir küp içine yerleştirilebilecek kusursuz bir küre oluşturan yapı, matematiksel ilkeler ile strüktürel olanakların eşsiz bir sentezini gözler önüne sermektedir.

Ortaçağ döneminde matematiksel oranların uygulanışı önemli bir dönüşüm geçirmiş, Hristiyan sembolizmi klasik matematiksel ilkelerle kaynaşmıştır. Ortaçağ yapı ustaları, çoğunlukla kare ve daire gibi basit geometrik şekillerin manipülasyonuna dayanan sofistike geometrik yöntemler geliştirmiştir. Karelerin döndürülmesiyle oransal ilişkiler üreten *ad quadratum* sistemi, temel bir tasarım aracı haline gelmiştir (Şekil 2.7). Reims Katedrali gibi, dönemin matematiksel düşüncesinin doruk noktasını temsil eden Gotik katedrallerin plan tasarımlarında geliştirilen oransal sistemler, geometrik ilerlemenin hem strüktürel verimlilik, hem de sembolik anlamlar üretebileceğini göstermektedir (Wu, 2016).



Şekil 2.7 Ortaçağ döneminde yaygın kullanılan *ad quadratum* örnekleri; karelerin alan büyüklükleri 1:2:4 dizilişine sahiptir (Jones, 1990, s. 10).

Ortaçağ boyunca özellikle manastırlar aracılığıyla gerçekleşen matematiksel bilgi aktarımı, antik oransal sistemlerin korunmasını ve geliştirilmesini sağlamıştır. Villard de Honnecourt'un 1230-1235 yıllarına tarihlenen eskiz defteri gibi mimari risaleler, geometrik ve oransal sistemlerin Ortaçağ yapı pratiğindeki uygulamalarını belgelemektedir (Şekil 2.8). Bu dokümanlar, matematiksel ilkelerin salt soyut kavramlar olarak değil, aynı zamanda mimari tasarımın pratik araçları olarak da nasıl kavrandığını ve kullanıldığını ortaya koymaktadır.



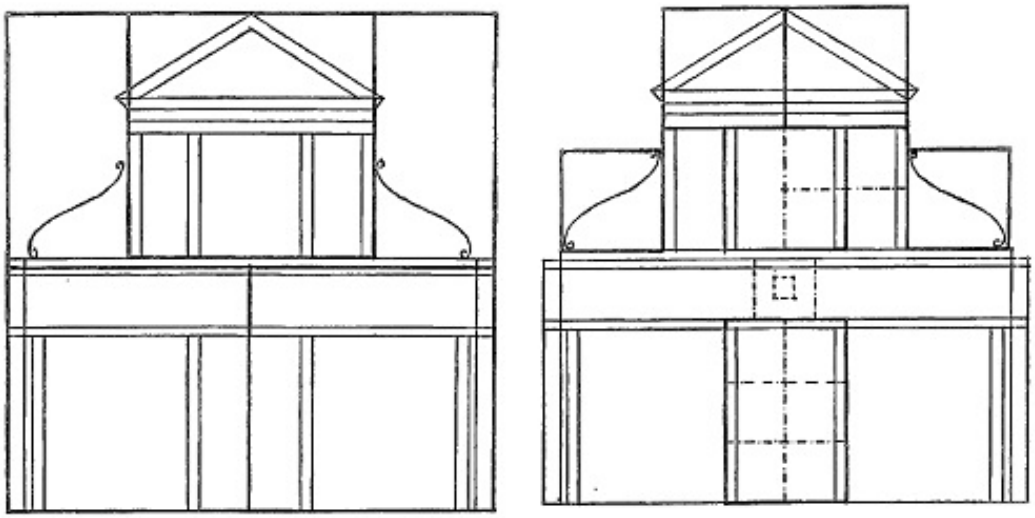
Şekil 2.8 Honnecourt'un albümünden: Tek bir kumpas açıklığıyla üç farklı kemer biçiminin oluşturulması (Williams & Duvernoy, 2014, s. 42).

Matematiksel oranların farklı kültürel ve tarihsel bağlamlarda gösterdiği süreklilik, bu ilkelerin mimari düşünce için taşıdığı hayati önemi kanıtlar niteliktedir. Her dönem bu ilkeleri kendi kültürel ve teknolojik çerçevesine göre yeniden yorumlamış, ancak matematiksel ilişkilerin mimari güzelliğin kaynağı olduğuna dair temel inanç değişmeden kalmıştır. Bu tarihsel gelişim, Rönesans döneminde mimari oranlarda yaşanacak devrimsel gelişmelerin zeminini hazırlamış ve matematiksel ilkeleri mimari tasarımın asli bir unsuru olarak tescil etmiştir.

Matematik ile mimari estetik arasındaki ilişkide bir dönüşüme işaret eden Rönesans dönemi, matematiksel ilkelerin mimari kuram ve pratiğe sistematik bir biçimde entegrasyonuyla karakterize olmuştur. Ortaçağ boyunca mimari tasarımın birincil kaynağı haline gelen yerleşik geometrik normlardan uzaklaşan Rönesans ustaları, çevrelerindeki doğal olgulardan aritmetik normlar çıkarsama yöntemini tercih etmiştir. Bu yaklaşım farklılığı yalnızca estetik bir tercih olmanın ötesinde, varlığın doğasına yönelik algılama biçimlerindeki köklü bir dönüşümü yansıtmaktadır. Ortaçağ sanatçısı evrensel ve değişmez geometrik ilkeleri temel alarak imgesel bir düzlem inşa ederken, Rönesans sanatçısı gözlemlenebilir doğal gerçekliğin barındırdığı orantıları keşfetmeye ve bu orantıları sanatsal ifadesine dahil etmeye

odaklanmıştır (Wittkower, 1965, ss. 158-161). Klasik oransal sistemlere yönelik bir canlandırmacılığın ötesine geçen bu yaklaşım, matematiksel ilkelerin mimari güzelliği nasıl şekillendirebileceğine dair bütünüyle yeni bir kavramsallaştırmayı temsil etmektedir.

Bu yeni kavrayışın kuramsal temeli, başta *De Architectura* olmak üzere klasik metinlerin hümanist keşfinden doğmuş, ancak Rönesans mimar ve kuramcıları bu antik kaynakların çok ötesine geçmişlerdir. Leon Battista Alberti'nin 1443-1452 yılları arasında yazdığı *De Re Aedificatoria* başlıklı kitabı, mimarinin matematiksel bir sanat olarak anlaşılması için kapsamlı bir kuramsal çerçeve oluşturmuştur. Alberti'nin parçalar arasındaki kesin matematiksel ilişkilerden doğan uyumu ifade etmek üzere kullandığı *concinnitas* kavramı, Vitruvius'un oransal sistemleri mimari düşüncenin merkezine koyan yaklaşımının bir devamı niteliğindedir (Şekil 2.9). Alberti için matematiksel ilişkiler salt pratik araçlar değil, mimariyi evrensel doğa yasalarına bağlayan temel güzellik ilkeleridir (Wittkower, 1965, s. 34).

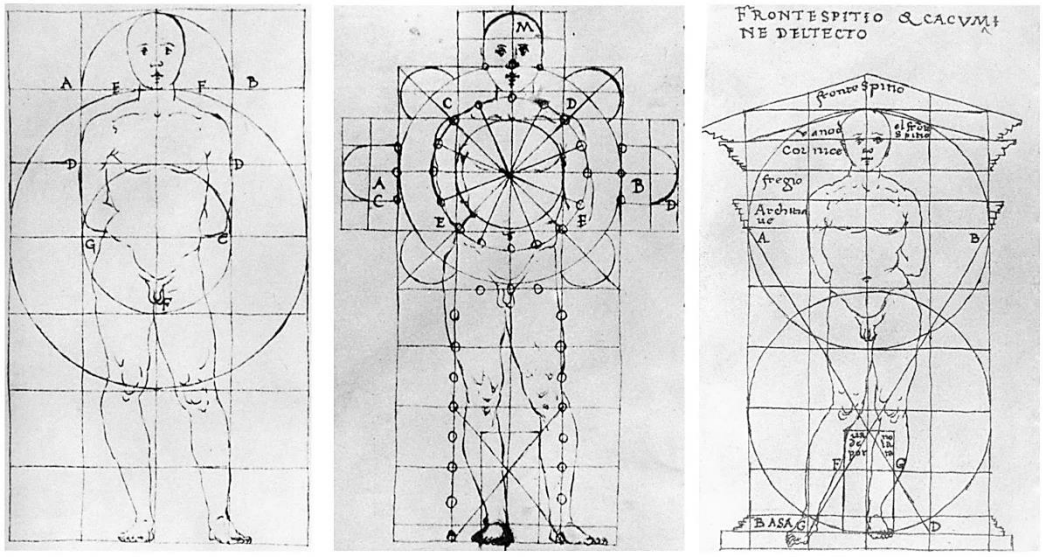


Şekil 2.9 Alberti'nin 1:2 oranıyla bir kareyi daha küçük karelere bölerek türettiği Santa Maria Novella cephesi (Wittkower, 1965, s. 46).

Filippo Brunelleschi'nin doğrusal perspektifi geliştirmesi, görsel mekanın matematiksel kavranışında kritik bir ilerlemeyi temsil etmiştir. Brunelleschi'nin 1420 yılı civarında Floransa Katedrali meydanında yaptığı gösterim ile tanıttığı doğrusal perspektif, daha sonra Alberti'nin 1435 tarihli *Pittura* isimli eserinde formüle edilmiş ve üç boyutlu mekanın temsili için önemli bir matematiksel temel oluşturmuştur. Bu yenilik, mekansal ilişkileri anlama ve kontrol etme konusunda

sistematik bir yöntem sağlayarak mimari düşünceyi derinden etkilemiştir (Argan & Robb, 1946, ss. 103-104). Perspektifin matematiksel ilkeleri, yalnızca temsil düzeyinde değil, mekansal kavrayışın kendisini şekillendiren bir unsur olarak da mimari tasarımın ayrılmaz bir parçası haline gelmiştir.

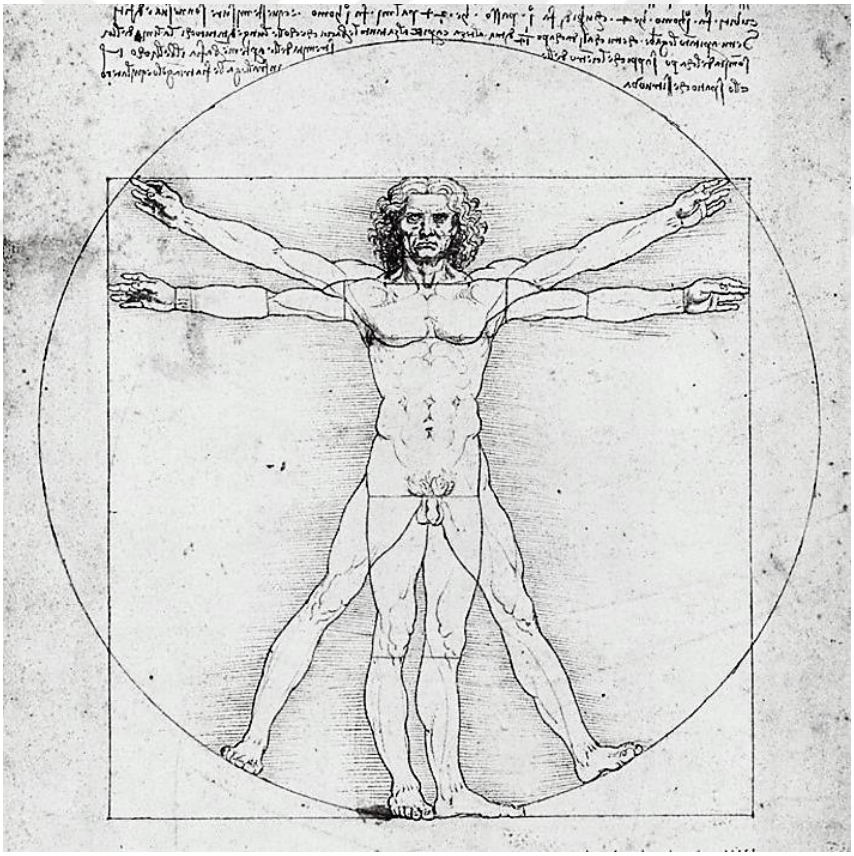
Mimari oranların sistematik hale getirilmesi, bu dönemde yeni bir karmaşıklık düzeyine ulaşmıştır. Francesco di Giorgio'nun çalışmaları, Rönesans mimari kuramında çığır açıcı bir dönüm noktasını temsil etmektedir. Basit oransal ilişkilerin ötesine geçen bu yaklaşım, mimari formların doğrudan insan anatomisinin analojisi olarak kavramsallaştırıldığı karmaşık bir sistem geliştirmiştir (Şekil 2.10). 1480 yılı civarına tarihlenen *Trattato di Architettura* isimli eserinde yer verdiği çizim ve yazıları, kiliseler, tahkimatlar ve kamusal yapıların yalnızca insan vücudunun oranlarını değil, aynı zamanda organizasyonel prensiplerini de nasıl somutlaştırdığını gösterir niteliktedir. Bu bağlamda, yapısal elemanlar kemiklere, dolaşım sistemleri ise koridor ve merdivenlere karşılık gelecek şekilde tasarlanmıştır. Francesco di Giorgio'nun geliştirdiği bu antropomorfik yaklaşım, Barok dönemine kadar uzanan süreçte mimari kuram ve uygulamaları derinden etkilemeyi sürdürmüştür (Millon, 1958).



Şekil 2.10 Francesco di Giorgio'nun *Trattato di Architettura*'sından antropomorfik mimari çizimler (Millon, 1958).

Yeni-Platoncu felsefeyle ilişkilendirilen geometrik ilkelerin bu dönemde böylesine bir önem kazanmasında Vitruvius'un doğrudan etkisi büyük olmuştur. Rönesans mimarları için adeta bir kutsal metin haline gelen, 15. yüzyıl boyunca çokça

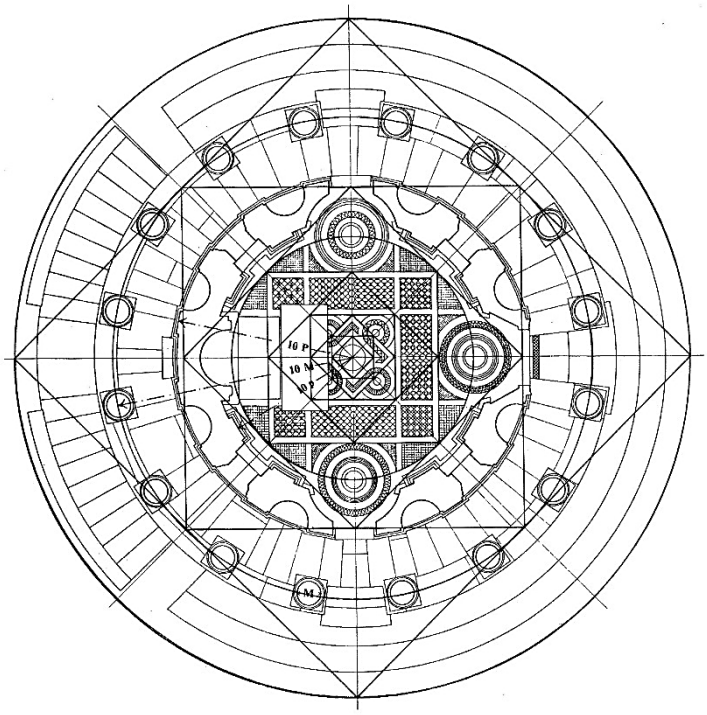
tartışılan ve 1486 yılından itibaren ardarda baskıları yapılan ünlü eserinde Vitruvius'un tanımladığı ideal orantılı formlar, esasen Platon'un *Philebus* isimli eserinde tartıştığı ideal geometrik formlardan türetilmiştir. Platon, bu tür formların yalnızca doğalarında var olan bir güzelliğe sahip olmanın ötesinde, "ebedi ve mutlak güzel" oldukları inancını savunmuştur. Vitruvius da temelini simetri ve orana dayandırdığı tapınak tasarımına adanmış üçüncü kitabında bu düşünceden yararlanmıştır. İdeal oran sistemlerini bulduğu insan vücudunun mükemmellik ve uyumunu, onun "en mükemmel geometrik şekiller" olan daire ve karenin içine tam olarak nasıl sığdığını anlatarak göstermiştir (Roth & Clark, 2018, ss. 371-372). Bu sade, ancak derinlikli imge Rönesans düşünürlerinin hayal gücünü derinden etkilemiş ve insan ile evrene dair temel bir hakikatin varlığına işaret etmiştir. Bu anlamda *Vitruvius Adamı* estetik bir rehber olmanın ötesinde, evrensel uyuma açılan ilahi bir anahtar niteliğine bürünmüştür (Şekil 2.11).



Şekil 2.11 Leonardo da Vinci'nin *Vitruvius Adamı* olarak bilinen ünlü çizimi (Roth & Clark, 2018, s. 371).

Geometrik formların ilahi ilkeleri somutlaştırabileceği inancı, merkezi planlı kiliselere yönelik ileri düzeyde araştırmalara da yön vermiştir. Bramante'nin

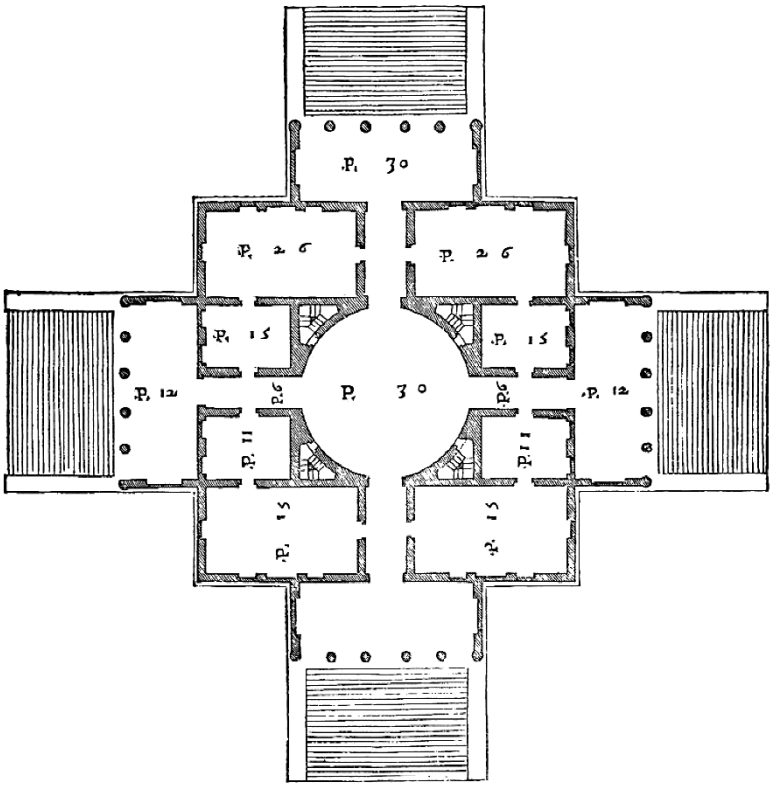
dairesel ve kare geometrileri hem matematiksel hassasiyet, hem de sembolik anlam ifade edecek şekilde özenle düzenlediği 1502 tarihli Tempietto'su, bu yaklaşımın mükemmel bir örneğini temsil etmektedir (Şekil 2.12). Dönemin düşünce ve inanç atmosferinde bu tür yapılardaki matematiksel ilişkiler salt estetik tercihler olmanın ötesine geçmiş ve kozmik düzenin tezahürleri olarak kavranmıştır (Wittkower, 1965, ss. 21-24).



Şekil 2.12 Bramante'nin Tempietto'sunda planın her detayı *ad quadratum* şemasıyla örtüşen bir konumda bulunmaktadır (Jones, 1990, s. 5).

Mimari çizimin kesin bir matematiksel araç olarak gelişimi, bu dönemin bir diğer önemli ilerlemesini temsil etmektedir. Plan, kesit ve görünüşten oluşan ortografik projeksiyon sisteminin kodifikasyonu, mimarlara oransal ilişkileri kontrol etmek için titiz bir yöntem sağlamıştır. Bu teknik gelişme, matematiksel ilkelere dayanan daha ileri düzeyde mimari kompozisyon yaklaşımlarının önünü açmıştır (Lefèvre, 2021). Bu anlamda Andrea Palladio'nun çalışmaları, Rönesans mimarisinde matematiksel düşüncenin doruk noktasını temsil etmektedir. 1570 tarihli *I quattro libri dell'architettura* adlı eseri hem matematiksel ilkelere, hem de mimari deneyime dayanan gelişkin bir oransal ilişkiler sistemi sunmuştur. Gerçekleştirdiği villa tasarımları da bu sistemin hem pratik, hem de güzel mimari eserler üretebileceğini göstermiştir. Yapımına 1567 yılında başlanan Villa Rotonda (Şekil 2.13), geometrik formların ve oransal sistemlerin özenli koordinasyonu sayesinde

matematiksel düzen ile mimari ifade arasında tam bir uyum yaratarak, bu sentezin mükemmel bir örneğini teşkil etmiştir (Wittkower, 1965, ss. 70-72).

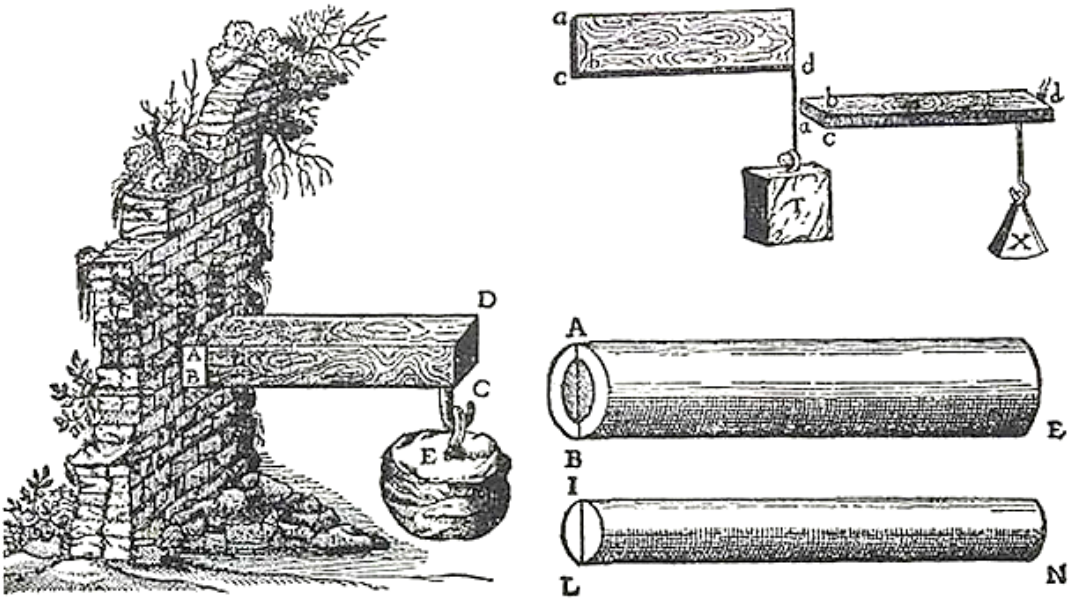


Şekil 2.13 Villa Rotonda'nın planı, Palladio'nun geometrik formlara, simetri ve oranlara verdiği önemi ortaya koymaktadır (Roth & Clark, 2018, s. 146).

Erken modern dönemin son yüzyılı, matematiksel güzelliğin kavramsallaştırılması ve mimariye uygulanması açısından köklü bir bir dönüşüme tanıklık etmiştir. Bu dönüşüm, kabaca 17. yüzyılın ortalarından itibaren Endüstri Devrimi'ne kadar uzanan bir süreçte yeni bilimsel kavrayışların, teknolojik olanakların ve estetiğe yönelik felsefi yaklaşımların yakınsamasından doğmuştur. Dönemin matematiksel güzellik yorumu Rönesans ideallerinden kesin bir kopuşu işaret ederken, bilimsel gelişmelerin etki alanı mimariyi de içine alarak genişlemeye başlamıştır.

Bu bağlamda geleneksel strüktür anlayışından yapı bilimine geçişin en erken habercisi, Galileo Galilei'nin 1638 tarihli *Discorsi e dimostrazioni matematiche intorno a due nuove scienze* isimli eseri olarak kabul edilmektedir. Kiriş davranışını açıklamaya yönelik ilk matematiksel çalışma olan bu eseriyle Galileo'nun "iç kuvvetler" kavramını ve bunların strüktürel elemanlardaki dağılımını ortaya koyması, ampirik anlayıştan teorik kavrayışa geçişte bir dönüm noktası olmuştur (Şekil 2.14). Konsol kirişler üzerine yaptığı analizler, özellikle gerilmenin nötr

eksenden olan uzaklıkla doğrusal olarak değiştiği gözlemi, kiriş göçme mekanizmalarında bazı yanlışlıklar içermesine rağmen, kendisinden sonraki tüm strüktür teorileri için bir temel oluşturmuştur (Addis, 2007, ss. 191-192).

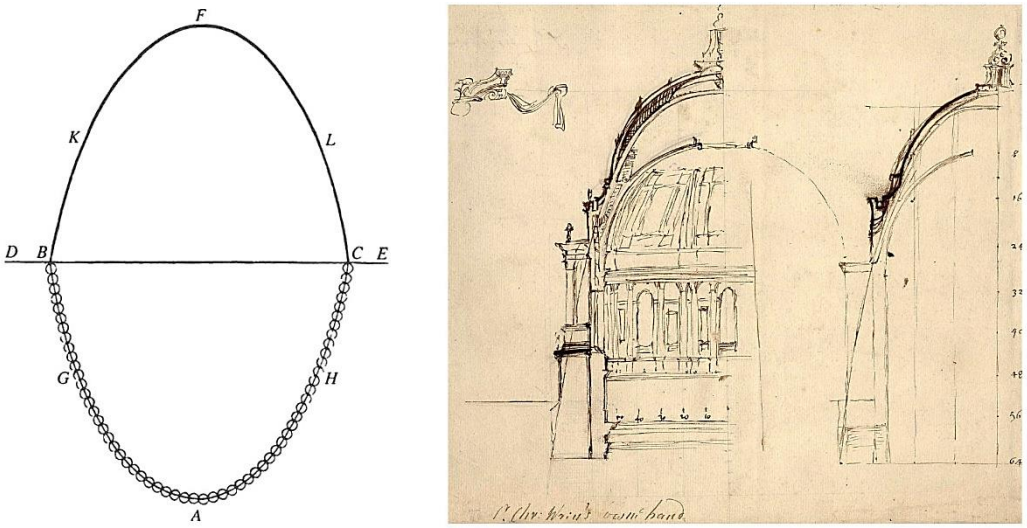


Şekil 2.14 Gelileo, kirişin yüklenme yönü ve içinin dolu ya da boş olması gibi farklı durumları içeren analizler gerçekleştirmiştir (Addis, 2007, s. 190).

Bu matematiksel temel, Robert Hooke'un 1675 yılında *ut tensio sic vis* (uzama ne kadarsa, kuvvet de o kadar) şeklinde duyurduğu, kuvvet ve deplasman arasındaki doğrusal ilişki formülasyonu ile önemli ölçüde genişlemiştir. Hooke Yasası, mimar ve mühendislere yük altındaki malzeme davranışının ilk kesin matematiksel tanımını sağlamıştır (Heyman, 1998, ss. 79-80). Elastisite teorisi, bundan sonraki en önemli ilerlemesini Leonhard Euler'in kolon burkulması üzerine yaptığı ve 1744 tarihli *Methodus inveniendi lineas curvas* isimli eserinde yayınladığı çalışmayla kaydetmiştir. Euler'in kolonlar için türettiği kritik burkulma yükü formülü, günümüzde hala strüktürel tasarımın temelini oluşturmakta ve mimarlara eksenel yük altındaki düz bir kolonun hangi yükleme koşullarında göçeceğini kesin olarak öngörme imkanı sağlamaktadır (Heyman, 2014, s. 200). Mimarların form ve ölçek sınırlarını daha büyük bir güvenle zorlamalarına olanak tanıyan bu matematiksel kesinlik, strüktürel mekaniğin gelişiminde bir dönüm noktası olmuştur.

Robert Hooke'un aynı dönemde strüktür analizine yönelik olarak zincir eğrisi üzerinde gerçekleştirdiği çalışmalar, yığma yapıların davranışına dair kavrayışın gelişmesine önemli ölçüde katkıda bulunmuş ve mimari tasarıma yeni matematiksel

değerlendirmeler eklemiştir (Şekil 2.15). İlk büyük ölçekli uygulamasını Londra'daki St. Paul Katedrali'nin kubbe tasarımında bulan bu çalışmalar, yapısal mühendislik açısından son derece önemli bir dönüm noktası olmuştur (Macdonald, 2019, s. 132). Bilimsel deneyler yoluyla yapıların davranışını anlamaya yönelik bir mühendislik yaklaşımının ortaya çıkması, strüktür tasarımında yeni bir kavrayışın başlangıcına işaret etmektedir. Basınç kuvvetlerini mükemmel biçimde dağıtan matematiksel formuyla zincir eğrisi kemeri, bu yeni kavrayışın sembolü haline gelmiştir. Form ile kuvvet arasındaki ilişkiyi vurgulayan bu gelişmeler, bir anlamda modern strüktürel tasarım çağının da habercisi olmuştur.



Şekil 2.15 Hooke'un asılı bir zincirle kurduğu kemer analojisi ve Wren tarafından St. Paul Katedrali'nin kubbesinde uygulanışı (Huerta, 2006, ss. 325, 330).

Claude Perrault'nun 1683 tarihli *Ordonnance des cinq espèces de colonnes selon la méthode des anciens* isimli eserinde ortaya koyduğu şekliyle klasik oransal sistemlere yönelttiği meydan okuma, matematiksel güzellik düşüncesinin mimari evriminde kritik bir dönemeci temsil etmektedir. Perrault'nun güzelliğin içkin matematiksel ilişkilerden ziyade, olumlu çağrışımlardan kaynaklandığı yönündeki savı, mimari estetiğe yönelik kapsamlı bir yeniden değerlendirmenin kıvılcımını ateşlemiştir (Wittkower, 1965, ss. 144-145). Bu kuramsal pozisyon, matematiksel güzellik yorumlarını alışılagelmiş oransal sistemlerin ötesine taşıma yolunda yepyeni olanakların habercisi olmuştur.

2.2 Endüstri Devriminden Günümüze

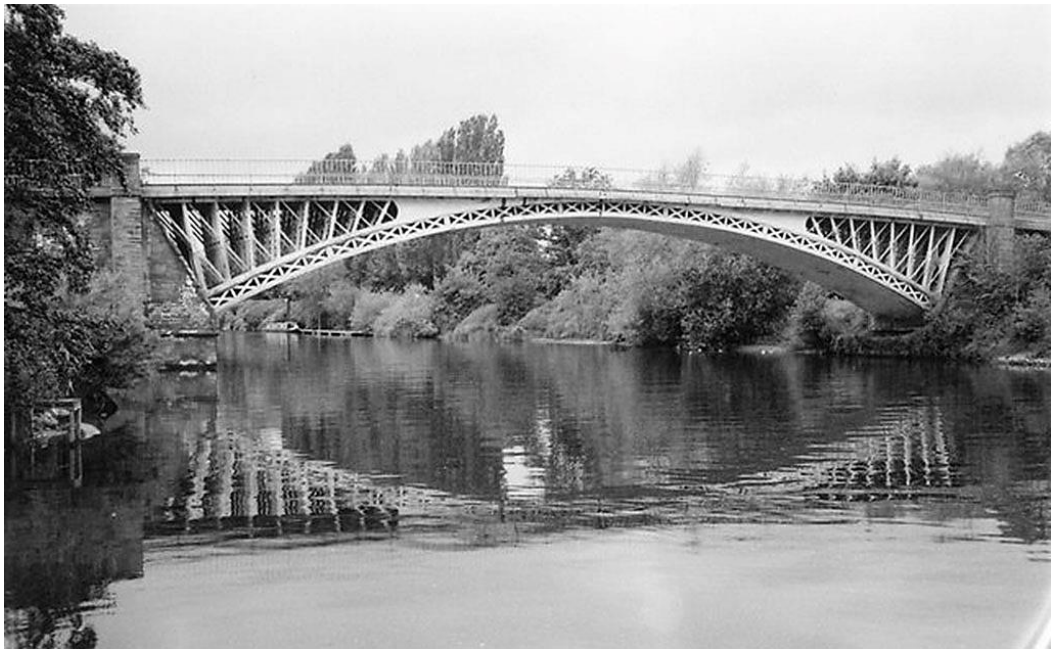
Perrault'nun açtığı yoldaki en önemli kilometre taşlarından biri olan Edmund Burke'ün felsefi çalışmaları, özellikle 1757 yılında kaleme aldığı *Enquiry into the Origin of our Ideas of the Sublime and Beautiful* isimli eseri, güzelliğin kavranışına yeni boyutlar katmıştır. Geometrinin konu ile bir ilgisi bulunmadığını iddia eden Burke'ün "güzel" ile "yüce" arasında yaptığı ayrım, klasik uyum ve oran ideallerinin ötesine geçen matematiksel ilişkilerin takdir edilmesi için kuramsal bir çerçeve sağlamıştır (Mallgrave, 2005, ss. 56-57). Göze hoş görünen oranların doğaya dönük gözlemlerden ya da insan bedeninin orantılarından elde edilemeyeceği yönündeki bu felsefi perspektif, dünya yeni bir çağa girerken karmaşık geometrik formların değerlendirilmesinde referans alınan matematiksel ilişkilere dair düşünceyi de derinden etkilemiştir.

Ondokuzuncu yüzyıla girerken Jean-Nicolas-Louis Durand'ın *Précis des leçons d'architecture* (1802-1805) isimli eserinde sunduğu mimari kompozisyona yönelik sistematik yaklaşım, fonksiyonel verimlilik ve geometrik rasyonaliteye dayanan yeni bir matematiksel güzellik yorumunu dile getirmiştir. Durand'ın ızgarayı organize edici bir ilke olarak vurgulayan yöntemi, matematiksel düzen ile mimari form arasında yeni bir ilişki önermektedir (Hernandez, 1969). Bu yaklaşım, matematiksel ilkelerin oransal uyumdan ziyade sistematik organizasyon yoluyla mimari güzellik üretebileceğine dair yeni bir kavrayış ortaya koymuştur.

Yeni yapı malzemelerinin ortaya çıkışı, özellikle demirin birincil yapı malzemesi olarak belirmesiyle, matematiksel modelleme ve strüktürel analizde temel ilerlemeler gerektirmiştir. Demirin kristal yapısı ve elastik-plastik davranışı, geleneksel malzemeler için daha önce geliştirilenlerden çok daha karmaşık matematiksel hesaplamalar gerektirmiştir. Thomas Tredgold'un 1822 yılında yayınlanan *Practical Essay on the Strength of Cast Iron and other Metals* isimli eseri, demirin strüktürel özelliklerinin ilk kapsamlı analizini ortaya koymuştur. Tredgold'un kiriş sehimi ve malzeme dayanımı üzerine matematiksel yaklaşımı, mimarlara demir yapıları eşi görülmemiş bir hassasiyetle tasarlama imkanı sağlayan temel araçları sunmuş ve malzeme bilimi ile mimari tasarım arasındaki ilişkiyi temelden dönüştürmüştür (Saint, 2007, ss. 91-95).

Aynı dönemde Claude-Louis Navier'nin teorik çalışmaları, modern strüktürel hesaplama yöntemlerinin temelini atmıştır. 1826'da yayımlanan *Résumé des Leçons sur l'Application de la Mécanique* adlı eseri, strüktürel elemanlardaki elastik davranışın ilk kapsamlı matematiksel incelemesini sunmuştur. Navier'nin kiriş teorisi, uygulanan yükler ile kiriş elemanlarının iç gerilimleri arasındaki ilişkiyi ortaya koymuş ve strüktür analizinin ilerleyen yıllardaki gelişimine zemin oluşturmuştur (Heyman, 1998, ss. 13, 154). Kurduğu matematiksel çerçeve, mühendislerin ampirik yöntemlerin ötesine geçerek yapısal tasarımda daha hassas analitik yaklaşımlar üretmelerine olanak sağlamıştır.

Matematik ve mühendislik alanındaki bu ilerlemeler, mimari estetiğin değişen yorumlarına da katkıda bulunmuştur. Onsekizinci yüzyılın sonlarında grafik statiğin geliştirilmesi, yapısal kuvvetleri görselleştirmek ve farklı geometrik konfigürasyonların bu kuvvetlerin dağılımını nasıl etkilediğini analiz etmek için yeni araçlar sağlamıştır. Yapıları anlama konusundaki bu matematiksel yaklaşım, estetik düşünceyi etkileyerek strüktürel verimliliği ifade eden formlara yönelik yeni bir takdir anlayışının gelişmesine yol açmıştır. Thomas Telford'un demir köprüleri (Şekil 2.16), matematiksel form optimizasyonunun tamamen yeni mimari güzellik ifadeleri ürettiği bu strüktürel estetik duyarlılığın somut örneklerini temsil etmektedir (Billington, 1985, ss. 30-33).



Şekil 2.16 Thomas Telford tarafından tasarlanan Holt Fleet köprüsü 1828 yılında hizmete açılmıştır (Barney, 2013, s. 17).

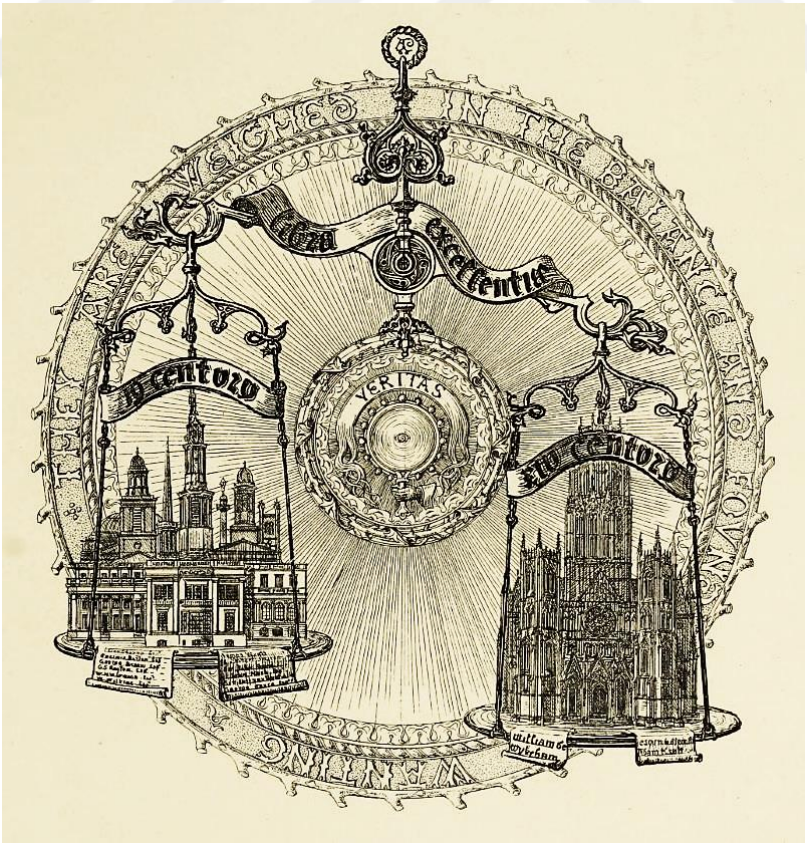
Endüstri Devrimi'yle birlikte ortaya çıkan yeni yapı tipleri geleneksel mimari ilkelerin ötesine geçen yeni strüktürel yaklaşımlar gerektirmiş, bu da güzelliğe yönelik yeni bakış açılarını beraberinde getirmiştir. Önce demir, ardından da çelik gibi yeni malzemelerin olanaklı kıldığı bu yeni yapılar, verimlilik ve malzeme optimizasyonuna dayalı yeni matematiksel güzellik yorumlarının yapılabilmesine ortam sağlamıştır. Joseph Paxton'ın 1851 tarihli Kristal Saray'ı, strüktürel mantığını şeffaf bir biçimde gözler önüne sermiş ve yarattığı çarpıcı estetik etki ile bu yeni matematiksel güzellik yorumunun en bilinen örneklerinden biri olmuştur (Şekil 2.17). Daha az malzeme kullanarak daha büyük açıklıkların geçilmesi açısından benzersiz strüktürel olanaklar sunan bu yeni malzemelerin yük altındaki davranışını anlamak için matematiksel temeller sağlayan strüktür kuramları, geleneksel oranlardan ziyade yapısal performansa dayalı yeni estetik olanakların önünü açmıştır (Picon, 1988).



Şekil 2.17 Kristal Saray, yeni teknolojiyle gelen tümüyle işlevsel bir tasarım yaklaşımının anıtsal bir örneği olmuştur (Macdonald, 2019, s. 169).

Böylece, matematiksel güzelliğin kavranışına yönelik olarak çağlar boyu devam eden dönüşüm, nihayet mimari estetiğin radikal bir biçimde yeniden yorumlanışı için kuramsal ve pratik temelleri oluşturmuştur. Esasen erken modern dönemin daha geniş kültürel değişimlerinin bir yansıması olan bu dönüşüm, ampirik bilim ve endüstriyel teknolojinin mimari düşünceyi giderek daha fazla etkilediğinin de bir göstergesidir.

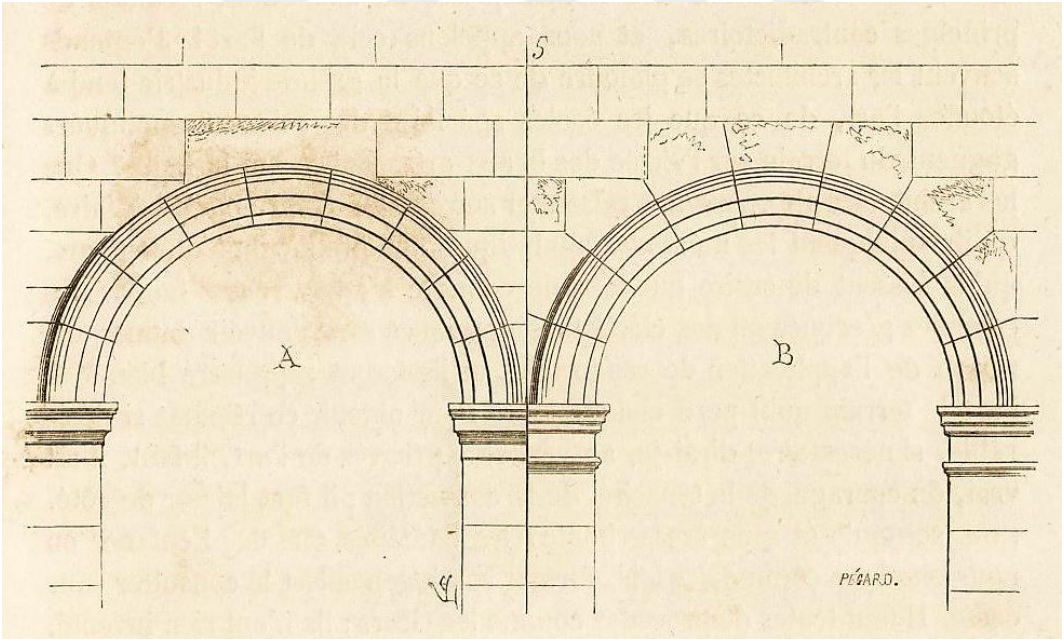
Strüktürel estetiği teknik zorunluluk ile sanatsal ifadenin kesişimindeki bir entelektüel alana yerleştiren bu dönüşüm, yapı üretiminde giderek bilimselleşen yaklaşım ile mimarinin sanatsal hedeflerini uzlaştırabilecek kuramsal bir çerçeveyi de zorunlu kılmıştır. Böyle bir kuramsal söyleme yönelik temel kavramlar olarak karşımıza ilk çıkan, malzemeye sadakat ve yapısal dürüstlük ilkeleridir. Kullanılan malzemelerin doğal özelliklerinin ve yapı üzerlerinde etkili olan kuvvetlerin dekoratif amaçlarla gizlenmek veya çarpıtılmak yerine, açık ve özgün bir biçimde mimari formda ifade edilmesi gerektiğini savunan bu ilkenin entelektüel kökenleri, özellikle Augustus Welby Northmore Pugin'in teorik çalışmaları aracılığıyla Gotik Canlanma hareketine kadar izlenebilir (Şekil 2.18). Pugin, 1841 tarihinde yayınladığı *The True Principles of Pointed or Christian Architecture* isimli eserinde yapısal gereklilik ile mimari ifade arasındaki temel ilişkiyi ele almış ve "bir yapıda kullanım, konstrüksiyon veya uygunluk açısından gerekli olmayan hiçbir öğe bulunmamalıdır" görüşünü ortaya koymuştur (Pevsner, 1977, s. 47). Bu önerme, yapısal estetiğe ilişkin sonraki söylemleri derinden etkileyecek kuramsal bir çerçeve oluşturmuştur.



Şekil 2.18 Pugin 19. yüzyılın çağdaş mimarisi ile 14. yüzyılın Gotik mimarisini "Doğruluk" terazisinin kefelerinde kıyaslamıştır (Pugin, 1836, s. 115).

Malzemeye sadakat ilkesi, John Ruskin'in 1849 tarihli *The Seven Lamps of Architecture* isimli eserinde, özellikle "Doğruluk Lambası" bölümünde kayda değer bir kuramsal ilerleme kaydetmiştir. Konuya doğrudan ahlaki bir boyut kazandıran Ruskin, mimari aldatmacayı kınamış ve malzeme özelliklerinin özgün ifadesini savunmuştur (Ruskin, 1849, s. 31). Bu felsefi duruş, modern dönem boyunca yapısal dürüstlüğün teorik kavranışını şekillendirmekte belirleyici olmuştur.

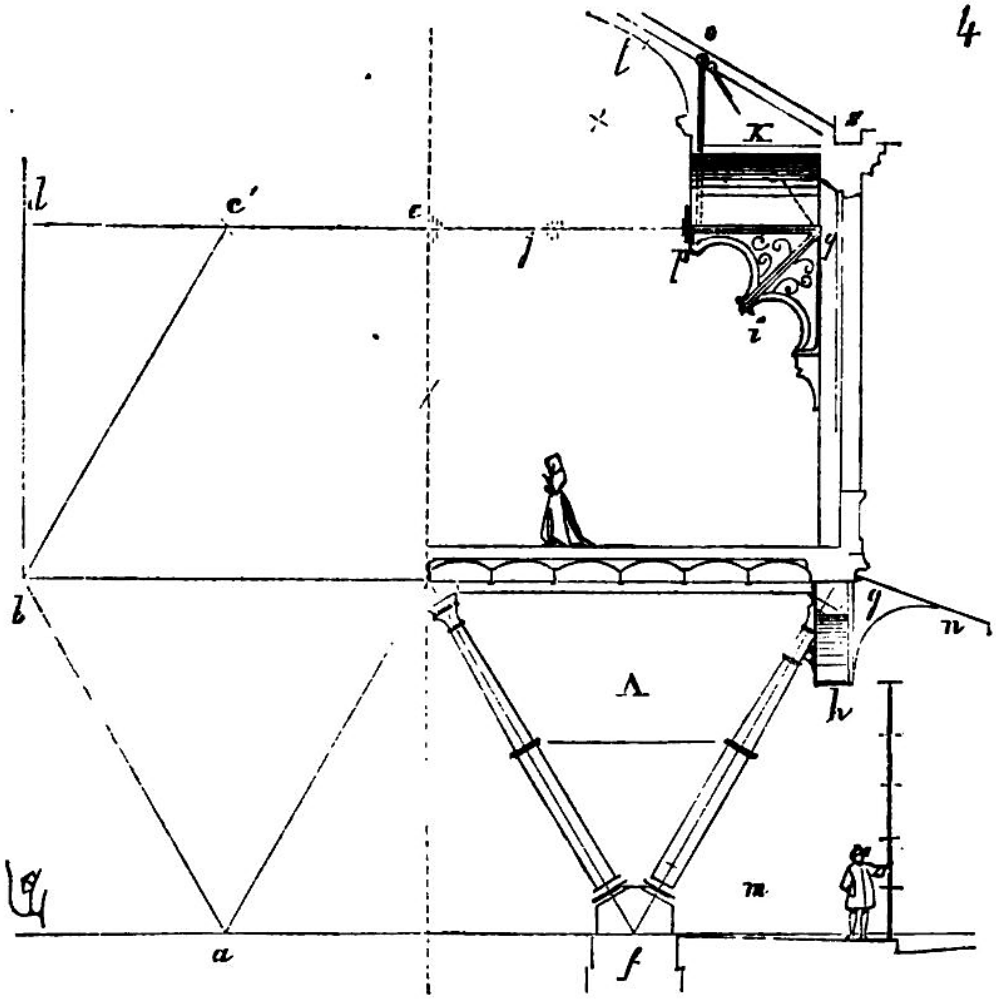
Bu kuramsal ilkeler, mimarlık pratiğindeki en etkili ifadesini Eugène Emmanuel Viollet-le-Duc'ün çalışmalarında bulmuştur. Onun Gotik mimariye yönelik analitik yaklaşımı, strüktürel mantık ile mimari form arasındaki içkin ilişkiyi ortaya koymuştur. Ortaçağ yapım tekniklerine ilişkin detaylı incelemelerini 1854-1868 yılları arasında yayınladığı *Dictionnaire raisonné de l'architecture française du XIe au XVIe siècle* isimli eserine aktarmış ve yapısal dürüstlüğün mimari tasarım için üretken bir ilke olarak hizmet edebileceğini göstermiştir (Şekil 2.19).



Şekil 2.19 Viollet-le-Duc, kilit taşlarını uzatan mimarların dürüstlükle birlikte estetikten de uzaklaştıklarını belirtmiştir (Viollet-le-Duc, 1863, s. 189).

Yapı tekniğinin ve strüktürel unsurların mimari ifadedeki merkezi rolünü vurgulayan derinlikli bir inşaat kuramı geliştirmiş olan Viollet-le-Duc, Gotik mimari üzerine yürüttüğü kapsamlı çalışmalarından doğan bu kuramsal yaklaşımla çağdaşları arasında oldukça etkili bir konuma gelmiştir (Şekil 2.20). Bunu yaparken Gotik mimarinin taş iskelet sistemini metal bir strüktüre dönüştürmekle kalmamış,

aynı zamanda biçimin salt görsel bir kavram olmanın ötesindeki teknik anlamını ön plana çıkararak, dönemin Gotik üsluba duyduğu estetik hayranlığı güçlü bir teorik zemine oturtmuştur (Billington, 1985, s. 100).

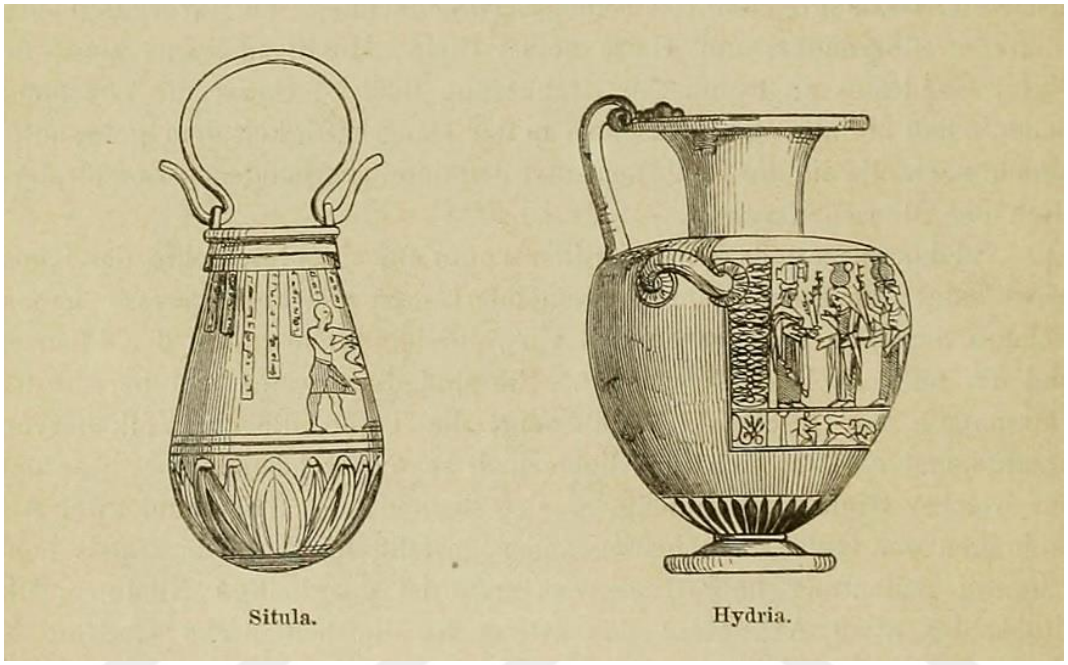


Şekil 2.20 Viollet-le-Duc, dönemin gelişen inşaat teknolojisini estetik ifade ile bütünleştiren bir yaklaşım ortaya koymuştur (Viollet-le-Duc, 1872, s. 65).

Viollet-le-Duc'ün rasyonalist yaklaşımının strüktürel estetiğe dair iki temel ilkesi bulunmaktadır. Birincisi; yapı malzemelerindeki her değişim, zorunlu olarak mimari formlarda da bir değişimi beraberinde getirmelidir. John Ruskin ve Gottfried Semper gibi çağdaş mimari düşünürler tarafından da paylaşılan ikinci ilke ise, malzemelerin kendilerine özgü biçimsel bütünlüklerini koruması, yani hiçbir malzemenin başka bir malzemeye ait formları taklit etmemesi gerektiğini savunmaktadır (Forty, 2012, ss. 80-82).

Semper'in kuramsal katkıları, özellikle 1860 ve 1863 yıllarında iki cilt olarak yayınlanan *Der Stil in den technischen und tektonischen Künsten* isimli eserinde

geliştirdiği "malzeme dönüşümü" (*Stoffwechsel*) kavramı, malzeme ve biçim arasındaki diyalektik ilişkiyi açıklayan temel bir çerçeve ortaya koymuştur. Bu kuramsal çerçeve, mimari ve sanatsal biçimlerin evriminde malzeme değişiminin oynadığı kritik rolü vurgularken, aynı zamanda kültürel formların sürekliliğini ve dönüşümünü de açıklamaktadır (Şekil 2.21).



Şekil 2.21 Semper'e göre, Mısır *situla*'sının alt bölümü "tüm Mısır mimarisinin temel özelliklerini" ve Yunan *hydria*'sının üst bölümü de "Dor mimarisinde bulunan belirli tipleri" barındırmaktadır (Semper, 1879, ss. 4-5).

Semper'in bu yaklaşımı, biçimsel ve yapısal özelliklerin farklı malzeme ve bağlamlar arasında nasıl aktarılıp dönüştüğünü anlamaya yönelik olarak geçerliliğini günümüzde dahi korumakta olan analitik bir araç olmuştur. *Der Stil*'in ikinci cildinde ayrıntılı biçimde ele aldığı mimarinin tektonik doğasına yönelik vurgusu, mekanı yalnızca strüktürel bir sonuç olarak değil, mimari düşüncenin müstakil bir inceleme sahası olarak konumlandırması bakımından da önem taşımaktadır. Roma tonozu üzerinden geliştirilen bu kavramsal çerçeve, strüktürel yeniliklerin yeni mekansal olanaklara ve daha da önemlisi, mimarlıkta mekan üzerine yeni düşünme biçimlerine yol açabileceğini gösteren önemli bir örnek oluşturmuştur (Mallgrave, 2005, ss. 135-137).

Aynı dönemde strüktürel analizin matematiksel gelişimi, Saint-Venant'ın burulma ve eğilme alanlarındaki katkılarıyla yeni bir aşamaya ulaşmıştır. 1855 yılında burulma kuvvetlerinin etkisi altındaki prizma kesitli elemanlarda stres dağılımı

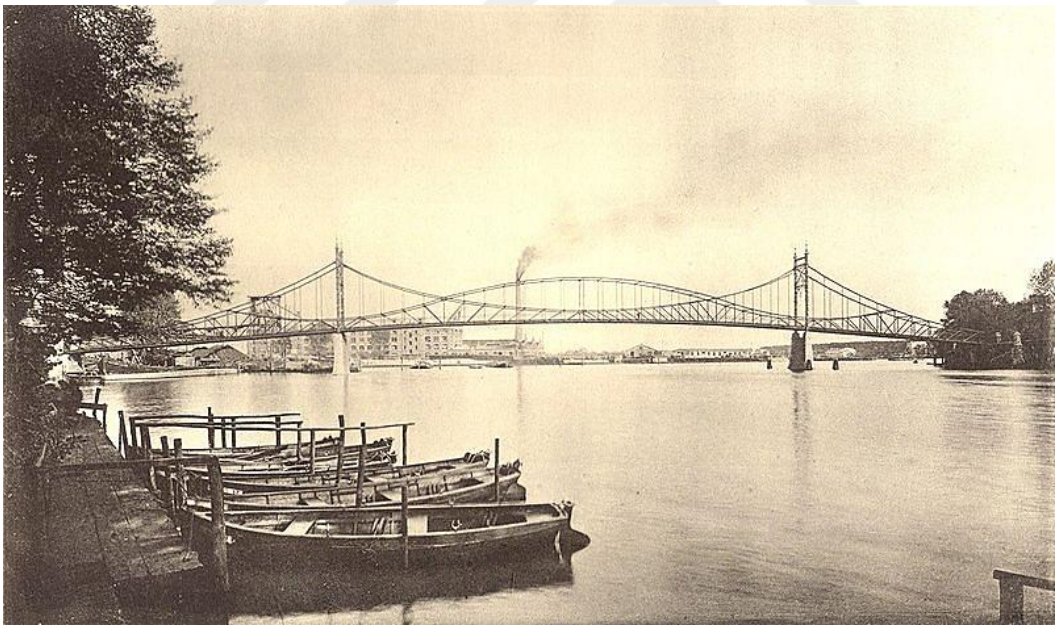
üzerine yazdığı inceleme, karmaşık yükleme koşulları altındaki strüktürel elemanların davranışına dair çok önemli içgörüler sağlamıştır. Elastisite teorisinin tüm temel prensiplerini geliştiren bu çalışma, gerilim kuvvetlerinin doğru bir biçimde analizi ve malzeme ile ilişkilendirilmesi sayesinde eliptik, dikdörtgen ve üçgen kesitli çubukların burulmasına yönelik matematiksel çözümler ortaya koymuştur. Denklemlerini Galileo'nun problemine de uygulayan Saint-Venant, kayma gerilmesinin enine kesit üzerindeki dağılımını da belirlemiş ve daha da geliştirdiği bükülme çözümlerini 1856 tarihli ikinci kitabında ayrıntılı olarak yayınlamıştır (Heyman, 1998, s. 45).

Strüktürel hesaplama yöntemlerindeki bir başka önemli ilerleme de grafik statiğin gelişimiyle kaydedilmiştir. Karl Culmann'ın 1866 tarihli çalışması *Die graphische Statik*, kuvvetlerin geometrik konstrüksiyon yoluyla analiz edilmesi için sistematik bir yaklaşım getirmiştir. Bu yöntem, özellikle karmaşık kafes ve çerçeve yapıların analizinde değerli olduğunu kanıtlamış, mühendisler için kuvvet akışlarına yönelik sezgisel anlayışı matematiksel hassasiyetle birleştiren görsel bir araç sağlamıştır. Culmann'ın yaklaşımı, Wilhelm Ritter tarafından daha da geliştirilerek, karmaşık strüktürel sistemlerin geometrik konstrüksiyon yoluyla analizi için daha gelişkin teknikler ortaya konmuştur (Billington, 2003, ss. 20-21).

Matematiksel optimizasyon ile strüktürel form arasındaki ilişki, minimal yüzeylerin geliştirilmesinde özellikle belirgin hale gelmiştir. Bu alandaki ilk deneysel çalışmalar Joseph Plateau tarafından gerçekleştirilmiş ve sonuçları 1873 yılında *Statique experimentale er rheorique des liquides soumis aux seules forces moliculaires* isimli eserinde yayınlanmıştır. Belirli sınır koşullarını karşılarken yüzey alanını en aza indiren bu yüzeyler, özellikle gerilim yapıları için büyük önem taşımıştır. Minimal yüzeylerin altında yatan matematiksel prensipler, mimari uygulamasını yaklaşık 100 yıl sonra, Frei Otto'nun çalışmalarında bulmuştur. Otto, gerilim strüktürlerini incelemek ve optimize etmek için fiziksel modeller üzerinde deneysel çalışmalar yapmıştır. Bu çalışmalarla elde ettiği formların matematiksel analizi, yüzey geriliminin verimli strüktürel geometriler üretebileceğini ortaya koyarak, hafif konstrüksiyon alanında yeniliklerin önünü açmıştır (Emmer, 2015, ss. 450-455).

Strüktürel formların matematiksel analizi, Heinrich Müller-Breslau'nun çalışmalarıyla daha da ileri bir düzeye ulaşmıştır. Sanal kuvvetler prensibini temel

alarak statiği ve malzeme mukavemetini pratik bir elastisite kuramı çerçevesinde birleştiren Müller-Breslau, doğrusal elastik kafes sistemlerinin genel bir teorisini, diğer bir deyişle klasik strüktür teorisini ortaya koymuştur. 1886 yılında yayınladığı *Die neueren Methoden der Festigkeitslehre* isimli eserinde yer verdiği bu teknik, mühendislerin hareketli yüklerin yapılar üzerindeki etkilerini analiz etmesine olanak tanımış ve özellikle köprüler gibi dinamik yüklere maruz kalacak tasarımlar için çok önemli bir hesaplama aracı olmuştur. Öte yandan, bu çalışmayı takip eden ve 1887'den itibaren birkaç cilt halinde yayımlanan *Die graphische Statik der Baukonstruktionen* isimli eseri, yazarın önemli bir analiz yöntemi olarak değerlendirdiği grafik statiğin esasen enerji prensibine dayalı olan klasik strüktür teorisi üzerindeki güçlü etkisini gözler önüne sermiştir (Kurrer, 2008, ss. 36, 329). Müller-Breslau'nun çalışmaları, strüktürel elemanların çeşitli yük koşulları altındaki davranışlarının matematiksel analiz yoluyla öngörülebileceğini ve optimize edilebileceğini göstermiş, bu da malzemelerin daha verimli kullanımının ve daha rasyonel strüktürel formların yolunu açmıştır (Şekil 2.22).



Şekil 2.22 Müller-Breslau'nun tasarımı olan Berlin'deki Kaisersteg Köprüsü 1898 yılında hizmete girmiştir (Sarrazin & Schultze, 1900, s. 12).

Ondokuzuncu yüzyılın sonu ile 20. yüzyılın başlarında yapısal dürüstlük kavramı kuramsal tartışmaların merkezi meselesi haline gelmiş, gerçek strüktürel davranış ile bunun mimari ifadesi arasındaki ilişki üzerine yoğun tartışmalar yaşanmıştır. Heinrich Wölfflin, 1886 yılında yazdığı *Prolegomena zu einer Psychologie der*

Architektur başlıklı doktora tezinde "eşduyum" (*Einfühlung*) kavramını mimarlık alanına uyarlamış, bir yapı üzerinde çalışan fiziksel kuvvetlerin insan bedenine etkiyen kuvvetler aracılığıyla kavrandığını ve dolayısıyla mimari formun yalnızca görsel olarak değil, aynı zamanda duyumsal olarak da deneyimlendiğini öne sürmüştür. Wölfflin, tezinde "form kuvveti" (*Formkraft*) olarak tanıttığı içkin bir niteliğe vurgu yaparak, formu madde üzerine dayatılan statik bir geometri olarak görmek yerine, onu maddi töz içerisinde yerçekimine ve formsuzluğa direnen dinamik bir kuvvet olarak kavramsallaştırmıştır (Ionescu, 2016). Estetik çözümlemeyi durağan biçimsel özellikler üzerinden değil, formların içkin gerilimleri nasıl ifade ettiği ve düzenlediği üzerinden yapan bu kuramsal bakış açısının kazandırdığı psikolojik boyut, arzu edilen estetik etkiyi elde edebilmek için kuvvetlerin görünür ifadesinin güçlendirilmesi veya dramatize edilmesinin gerekebileceğine yönelik iması ile, yapısal dürüstlük tartışmalarında yeni bir düzeyi işaret etmektedir.

Bu dönemde malzeme davranışına ilişkin derinlikli bir kavrayışı da içeren çok yönlü bir yaklaşım ortaya koyan Otto Wagner, 1896 tarihli *Moderne Architektur* isimli eserinde strüktürel elemanların yalnızca açığa çıkarılmakla kalmayıp, özgün bir mimari dille ifade edilmesi gerektiğini savunmuştur. Wagner'in düşünce sisteminde modern inşa teknikleri ile geleneksel yöntemler arasındaki temel fark, yeni yapı elemanlarının birbirleriyle tamamen farklı ilişkiler kurarak bir araya gelmesidir. Sözgelimi, geleneksel yığma duvar sistemlerinin aksine, çelik veya betonarme iskelet sistemle inşa edilmiş bir yapının dış kabuğu, artık ağır taşıyıcı yükleri karşılama işlevinden arındırılmıştır. Wagner'e göre, yapı sistemlerindeki bu paradigma değişimi, kaçınılmaz olarak farklı bir mimari ifade biçimini gerektirmektedir. Buradan hareketle mimari formun daima inşa etme mantığından doğması gerektiğini öne süren Wagner'in "işlevsel olmayan hiçbir şey güzel olamaz" şeklindeki görüşü, strüktürel dışavurumculuğun daha sonraki kuramsal gelişmelerini önemli ölçüde etkilemiştir. Yine de, Wagner'i salt işlevselci olarak nitelendirmek mümkün değildir; onun mimarlık anlayışında endüstrileşme süreçleri hiçbir zaman geleneksel zanaat değerlerinin yerini almamıştır. Wagner'in asıl hedefi, sağlamlık (*firmitas*), kalıcılık (*durabilitas*) ve vakar (*gravitas*) gibi mimarlığın kadim değerlerine çağın ruhuna uygun, yenilikçi yöntemlerle ulaşmaktır (Rybczynski, 2022, ss. 195-200). Bu açıdan bakıldığında Wagner,

yapının strüktürel mantığı ile estetik ifadesi arasında organik bir bağ kurarak, geleneksel mimarinin temel prensiplerini kendi çağının teknolojik imkanlarıyla yeniden yorumlamıştır (Şekil 2.23).

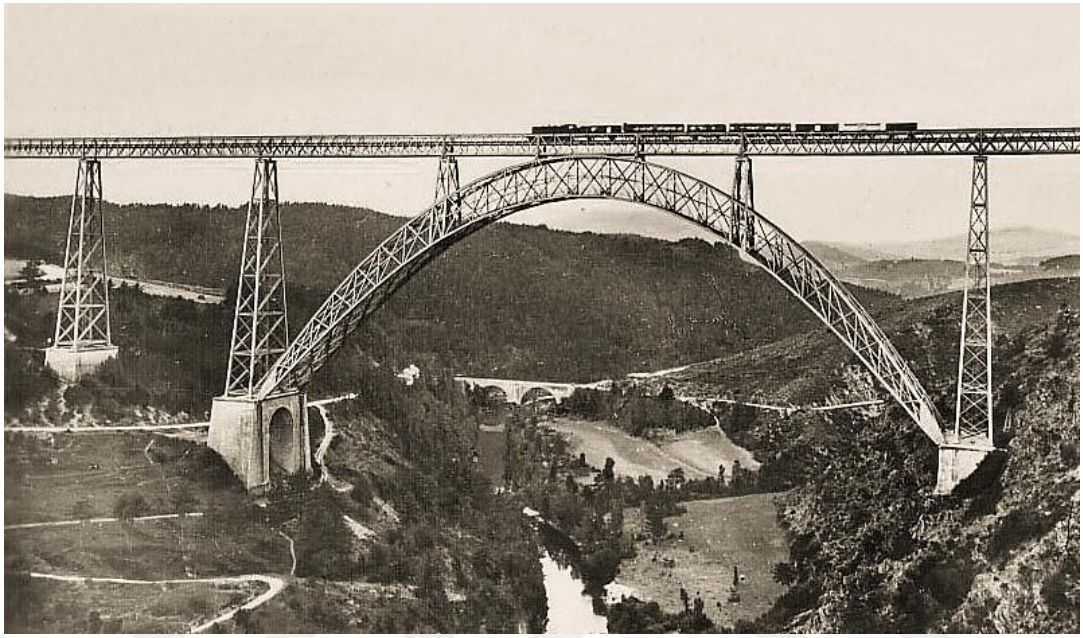


Şekil 2.23 Geleneksel simetrik kompozisyonu çağdaş malzeme ve inşa yöntemiyle birleştiren Karlsplatz Tren İstasyonu (1899), Wagner'in "modern" stilinin ilk örneklerinden biridir (Rybczynski, 2022, s. 196).

Geleneksel mimari pratiğin ötesindeki strüktürel olanakları mümkün kılan demir ve çeliğin devrimci potansiyeli, ilk olarak köprü tasarımlarında tam anlamıyla belirginlik kazanmış ve Gustave Eiffel gibi mühendisler, estetik etkilerini doğrudan matematiksel verimliliklerinden alan strüktür sistemleri geliştirmiştir. Bir mühendis olarak temel amacı daha hafif, daha ekonomik ve daha dayanıklı yapılar inşa etmek olan Eiffel, bilimsel kuramı daha iyi tasarımların aracı olarak görmek yerine, hesaplamaların tasarım sürecindeki vazgeçilmezliğini vurgulamıştır (Billington, 1985, s. 65). Eiffel'in tasarladığı çok sayıdaki köprüde hem Paris'teki ünlü kulesinin kökenlerini, hem de 20. yüzyıl yapı sanatına yön veren çığır açıcı fikirleri gözlemlemek mümkündür (Şekil 2.24). Eiffel'in bu yaklaşımı, modern strüktürel tasarımın temellerini oluşturan rasyonel düşünce sisteminin en etkileyici örneklerinden birini teşkil etmektedir.

Yirminci yüzyıl sona ererken kabuk yapılarla ilgili olarak yaşanan gelişmeler, mimari formda matematiksel optimizasyonun belki de en ileri uygulamasını temsil etmektedir. Vladimir Shukhov'un çift eğrilikli yüzeylerin geliştirilmesindeki öncü

çalışmaları, matematiksel ilkelerin nasıl hafif ancak son derece stabil yapılar üretebileceğini göstermiştir. Shukhov'un ilk kez 1896'da Nizhny Novgorod Kulesi'nde uygulanan hiperboloid strüktürleri, geometrik formun yapısal performansı optimize ederken malzeme kullanımını minimize etme anlayışında bir dönüm noktası olmuştur (Kurrer, 2008, s. 487).



Şekil 2.24 Eiffel'in 1884 yılında inşa ettiği Garabit Viyadüğü, 165 metre ile döneminin en geniş açıklıklı kemerine sahiptir (Sakowski, 2025).

Bu dönemde elastisite teorisinin iyileştirilmesi, gerilim altındaki malzeme davranışına yönelik daha kapsamlı bir kavrayışa olanak sağlamıştır. August Föppl'ün çalışmaları, özellikle 1897 yılından itibaren altı cilt olarak yayınlanan *Vorlesungen über technische Mechanik* isimli eseri, yalnız 20. yüzyıl boyunca Alman üniversitelerindeki uygulamalı mekanik müfredatının temelini oluşturmakla kalmamış, aynı zamanda uygulamalı mekaniğin hem içerik, hem de biçimsel yapısının şekillenmesinde belirleyici bir rol oynamıştır (Kurrer, 2008, ss. 177-180). Strüktür analizinin temelini oluşturan elastisite teorisinin kapsamlı bir matematiksel incelemesini sunan Föppl, çalışmalarıyla karmaşık strüktür sistemlerdeki gerilme ve deformasyonların daha hassas bir biçimde hesaplanmasını mümkün kılmıştır.

Aynı dönemde betonarmenin yapı malzemesi olarak kullanımının yaygınlık kazanmaya başlaması, yapısal hesaplama yöntemleri için yeni bir çalışma alanı ortaya çıkarmıştır. Betonun basınç dayanımını çelik donatının çekme kapasitesiyle birleştiren bu kompozit malzemenin karmaşık davranışı, analiz için yeni

matematiksel modeller gerektirmiştir. Emil Mörsch'ün teorik çalışmaları, özellikle 1902 tarihli *Der Eisenbetonbau* isimli eseri, betonarme yapıların analizi için matematiksel temelleri oluşturmuş, çalışma gerilimi yöntemleri ve dönüştürülmüş kesitler gibi strüktür tasarımında standart araçlar haline gelecek kavramları tanıtmıştır (Kurrer, 2008, ss. 522-525).

Alfred Gotthold Meyer'in 1907 yılında yayımlanan *Eisenbauten - Ihre Geschichte und Asthetik* isimli eserinde ortaya koyduğu strüktürel estetik yaklaşımı, mühendislik hesaplamaları ile estetik algı arasındaki ilişkiyi derinlemesine inceleyen özgün bir kuramsal çerçeve sunmuştur. Meyer'in temel savı, tasarım sürecinde strüktürel analizin teknik gerekliliklerin ötesine geçebileceği ve yapı mühendisinin "iç görüsü" vasıtasıyla bir üslup oluşturucu güce dönüşebileceği yönündedir. Bu bilişsel yeti, soyut matematiksel sistemlerin estetik açıdan tutarlı fiziksel yapılara dönüşümünü mümkün kılmaktadır. Baumgarten'in felsefi geleneğini takip eden Meyer, estetik kuramını *aisthesis* kavramı üzerine inşa etmiştir. Bu yaklaşım, salt sanatsal değerlendirmeden ziyade, insan algısının tüm spektrumunu kapsayan geniş bir perspektif sunmaktadır. Meyer'in kuramsal yeniliği, matematiksel soyutlamanın fiziksel gerçekliğe dönüştüğü kritik geçiş evresini tanımlamasında yatmaktadır. Bu geçiş evresinde mühendisin yapıyı görselleştirmesi başlangıçtaki hesaplamaların değiştirilmesini tetikleyebilmekte, böylece estetik kaygıların teknik kararları etkilediği döngüsel bir süreç ortaya çıkmaktadır. Buradan hareketle mühendislik anlayışı ve mimari yaratıcılık arasındaki geleneksel ikiliği sorgulayan Meyer, strüktürel hesaplamaların birtakım ince ayarlar aracılığıyla yapıları "daha net, daha sakin, daha özgür ve daha güzel" hale getirebileceğini, dolayısıyla, hesaplama işlemlerinin doğrudan estetik amaçlara hizmet edebileceğini savunmuştur. Teknik ve estetik kaygıları ufuk açıcı bir yaklaşımla bütünleştiren Meyer, kendisinden sonraki birçok mimar ve mühendise de ilham kaynağı olmuştur (Kurrer, 2008, ss. 699-701).

Modernist dönemle birlikte ve özellikle Deutsche Werkbund aracılığıyla, endüstriyel üretim ile mimari form arasındaki ilişkiye dair yeni perspektifler ortaya çıkmıştır. Peter Behrens'in endüstriyel tasarım üzerine kuramsal yazıları, özellikle 1910 tarihli *Kunst und Technik* başlıklı denemesi, mühendislik verimliliğinin estetik değer üretebileceğine dair yeni bir yaklaşımın altını çizmiştir. Burada Behrens, endüstrinin sanat ve teknolojiyi bir araya getirerek üreteceği yeni kültürle

tasarlanacak formların tarihsel üsluplardan veya dekorasyon uygulamalarından bağımsız olarak, kendilerine özgü içkin bir estetik mantığa sahip olabileceklerini öne sürmüştür (Folkmann, 2023, s. 126). Mesleki kariyeri boyunca çaydanlıktan fabrika binasına kadar birçok farklı tasarım gerçekleştirmiş olan Behrens, teknik gereksinimlerle sanatsal ifadeyi bütünleştiren yenilikçi yaklaşımıyla, endüstriyel üretim sürecini meşru bir güzellik kaynağı olarak konumlandıran modernist bir çerçeve geliştirmiştir (Şekil 2.25).



Şekil 2.25 Behrens'in 1908 yılında AEG için tasarladığı türbin fabrikası, endüstriyel mimari için bir milat olmuştur (Roth & Clark, 2018, s. 23).

Yapısal dürüstlük kavramı, modernist dönemde özellikle Mies van der Rohe'nin kuramsal katkılarıyla oldukça kapsamlı bir gelişim sürecinden geçmiştir. Mühendislik ilkelerinin yalnızca teknik gereklilikler olmadığını, aynı zamanda mimari güzelliğin de temel kaynakları olduğunu savunan Mies, strüktürel gerçekliğin gizlenmesine karşı çıkmıştır. 1922 tarihli *Two Glass Skyscrapers* denemesinde endüstri çağının güçlü mühendislik başarılarını yapısal gerçeklikle hiçbir ilişkisi olmayan dekoratif cephelerin arkasına gizleyen modern mimariyi eleştirmiştir. Ertesi yıl kaleme aldığı *The Office Building*'de betonarme iskeletli yapıların en az malzeme ile en yüksek verimliliği sunan etkileyici sadeliğini "deri ve kemik inşaatı" tanımlamasıyla dile getiren Mies'in bu iskelet metaforu, yapıyı mekanik mühendislik ürünü olmaktan çıkarıp, kendi içsel mantığı ve güzelliği olan organik bir sisteme dönüştürmüştür. 1943 tarihli *A Museum for a Small City* yazısında, çelik iskelet kullanımının yapıya tam bir esneklik sağladığı ve bu sayede

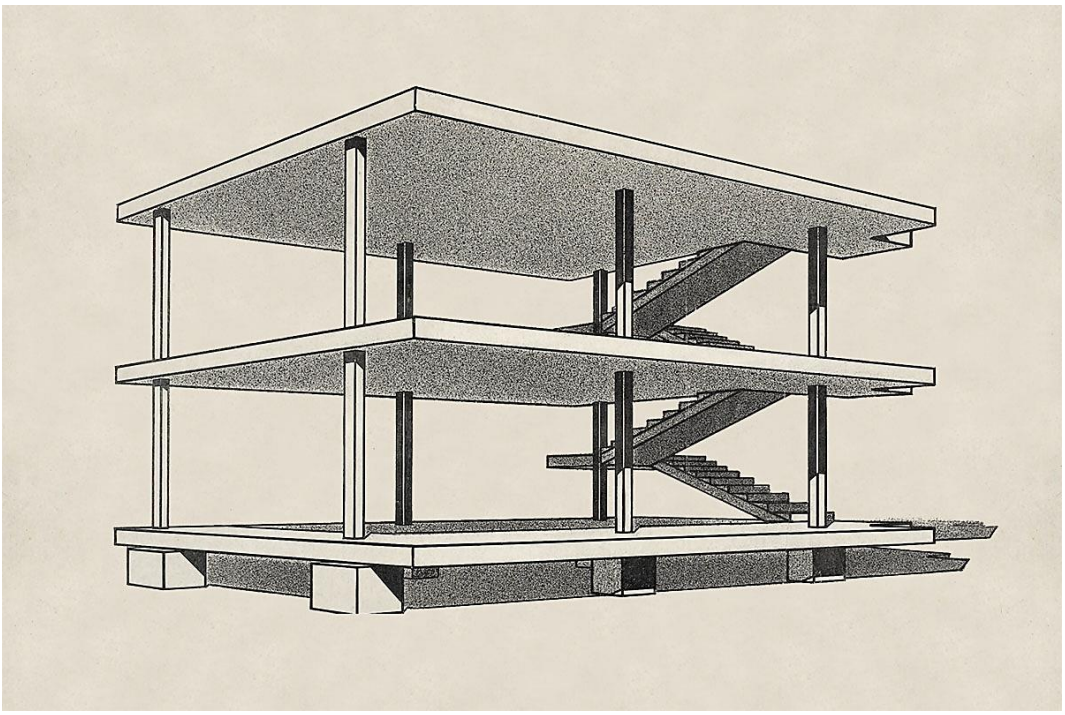
strüktürel düzen ile birlikte mimari organizasyonu da özgürleştirdiğine vurgu yapmış, böyle bir iskeletle ortaya çıkan mimari mekanın "sınırlayıcı" değil, "tanımlayıcı" bir mekan haline geldiğini ifade etmiştir. Burada salt taşıyıcı bir sistem olmanın ötesinde, mimari ifadenin kendisi haline gelen çelik iskelet, Mies'in "çalışmalarımızın amacını ve anlamını hiçbirşey daha iyi ifade edemez" sözleriyle tekrarladığı, Aziz Augustine'in "güzellik, hakikatin ihtişamıdır" sözünde yankısını bulan felsefi bir duruşun ve yapısal dürüstlüğe dayalı, modayı ve stil kaygılarını aşan mimari bir dilin sembolü olmuştur (Johnson, 1947, ss. 182-197).

Çeşitli yük koşulları altındaki ince kabukların davranışını anlamak için kuramsal bir çerçeve sunan membran teorisinin geliştirilmesiyle birlikte, strüktürel formların matematiksel optimizasyonu yeni bir seviyeye ulaşmıştır. Franz Dischinger ve Ulrich Finsterwalder'in 1920'lerdeki çalışmaları, kabuk yapıların analizi için matematiksel temelleri oluşturmuş, gerilme dağılımlarının ve deformasyonların hesaplanması için daha hassas yöntemlerin geliştirilmesine öncülük etmiştir (Billington, 1985, ss. 173-175). Ortaya koydukları matematiksel modeller, kabuk kalınlığının kuvvet dağılımına göre nasıl optimize edilebileceğini göstermiş, böylece daha verimli ve zarif strüktürel çözümlere zemin hazırlamıştır (Şekil 2.26).



Şekil 2.26 Dischinger ve Bauersfeld'in 1922 yılında Jena'daki Zeiss fabrikasının çatısına kurdukları 16 metre çapındaki Planetarium'da çelik iskelet üzerine beton püskürtülerek 3 cm. kalınlığında bir kabuk elde edilmiştir (Kurrer, 2008, s. 488).

Le Corbusier'nin kuramsal katkıları, endüstriyel estetik ile modernizmin mekansal kavramlarını yapısal ifadede birleştirme çabalarını yeni bir aşamaya taşımıştır. 1923 yılında yayınladığı *Vers une architecture* isimli eserinde çağdaş mimariyi inşa etme pratiğiyle ilişkilendirmek üzere belirlediği beş nokta, betonarme iskelet gibi modern strüktürel sistemlerin yaratabileceği yeni mekansal olanaklara işaret etmektedir. Mimarlık ile mühendislik arasında derin bir bağlantı bulunmasına rağmen mimarların endüstriyel nesnelerde içkin olan estetik potansiyele karşı kör kaldıklarını ileri süren Le Corbusier, bu anlamda Peter Behrens'in söylemini destekleyen ve geliştiren bir yaklaşım ortaya koymuştur. Kendi çalışmalarında belirgin bir biçimde endüstriyel bağlamlardan ödünç alınmış unsurları detaylandıran Le Corbusier'nin strüktürel estetiğinde mühendislik ilkeleri sadece görsel ilham kaynakları olmakla kalmayıp, aynı zamanda mekansal ilişkileri yeniden düşünmek için kavramsal çerçeveler de sunmuştur (Şekil 2.27). Ondokuzuncu yüzyılın demir konstrüksiyonlarına öncülük eden kuvvetler dengesini, yapısal hafifliği ve iç-dış mekan geçirgenliğini konut mimarisine kazandırmak isteyen Le Corbusier, böylece endüstriyel yapılardan türetilen strüktürel ilkeler aracılığıyla yerleşim alanlarının estetiğini de dönüştürmeyi hedeflemiştir (Giedion, 1997, s. 541).

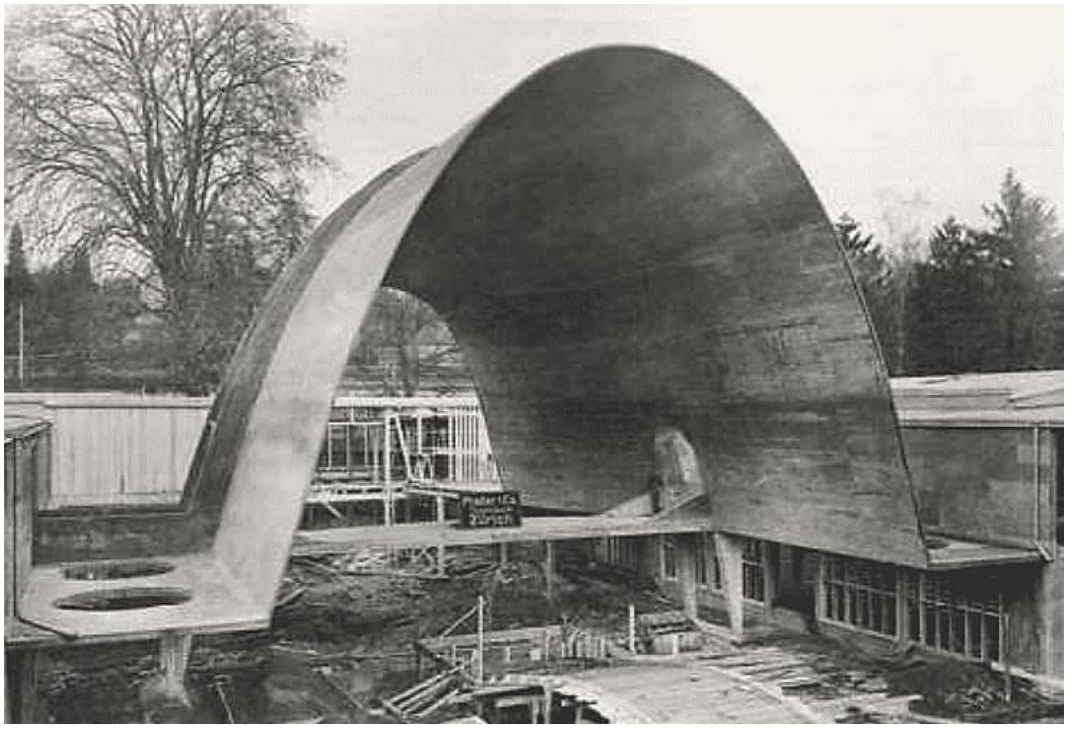


Şekil 2.27 Le Corbusier'nin strüktürel bir mühendislik çözümü olan betonarme iskeleti mimari bir ifadeye dönüştüren 1915 tarihli "Dom-ino Evi" tasarımı, sonraki yıllarda mimari üretiminin temelini oluşturmuştur (Giedion, 1997, s. 521).

1920'li yıllarla birlikte giderek daha karmaşık bir yapıya bürünen strüktürel hesaplamalara bağlı olarak, mühendislik disiplini içerisinde tasarım sürecinden bütünüyle izole ve tamamen analitik odaklı bir yönelim belirginleşmeye başlamıştır. İnşaat yönetmeliklerinde kısmen yasal bir statü kazanacak olan standart analiz metodolojileri geliştirilmiş ve o güne değin tasarım süreçlerine entegre edilmekte olan fiziksel ve görsel yöntemlerden uzaklaşılmaya başlanmıştır. Bu dönemde Robert Maillart'ın çalışmaları mühendislik pratiğinde bir kırılma noktası oluşturmuş ve yapının bütüncül davranışını kavramaya yönelik bir yaklaşımın öncülüğünü yapmıştır. Özellikle betonarme köprü tasarımlarında uzmanlaşan Maillart'ın estetik yaklaşımı, taş kenar ayakları ve geleneksel korkuluklar gibi unsurların ortadan kaldırılmasıyla somutlaşan malzeme verimliliği ilkesine dayanmaktadır. 1933 tarihli Schwandbach köprüsü, yatay eksende dönemeç yapan yolu düşey eksendeki kemerlerle son derece etkileyici bir biçimde bütünleştirirken, yapının dikkat çekici inceliği de Maillart'ın verimliliğe önem veren yaklaşımının somut bir ifadesi olmuştur. Maillart'ın basitleştirilmiş statik hesaplamalarının, o dönem tercih edilmekte olan karmaşık hesaplama yöntemlerine kıyasla köprü performansını daha doğru bir biçimde öngördüğünü ortaya koyan kapsamlı yük testi çalışmalarının yayınlanması, onun strüktürel tasarımda fiziksel davranışın anlaşılmasının matematiksel soyutlamadan daha öncelikli olması gerektiği yönündeki görüşünü desteklemiştir. Yıllar içerisinde artan deneyiminin kazandırdığı özgüven onu mühendislik mesleğinde giderek daha baskın hale gelen matematiksel karmaşıklıktan uzaklaştırdıkça, Maillart tasarımlarının hem bilimsel, hem de görsel açıdan etkileyiciliği daha da artmıştır (Şekil 2.28). Sonuç olarak, 20. yüzyıl modern sanat akımının tümüyle bir mühendisin hayal gücünden doğmuş yapıları bağımsız bir sanat formu olarak kavrayışı da büyük ölçüde Maillart'ın çalışmaları üzerinden şekillenmiştir (Billington, 1985, ss. 156-163).

Strüktür analizine yönelik matematiksel yöntemlerin geliştirilmesiyle birlikte, kuvvet analizi ve form optimizasyonunun entegrasyonu da yeni bir seviyeye ulaşmıştır. Hardy Cross'un 1930 yılında yayınlanan çalışması, statik açıdan belirsiz sistemleri basit aritmetik hesaplamalarla çözümleyen iteratif bir yöntem ortaya koymuştur. Rijit birleşim noktalı iskelet yapılardaki eğilme momentlerinin analizinde uygulanması gereken hesap prosedürlerini son derece sadeleştiren "moment dağıtma yöntemi", katı iskelet tasarımını yalnızca bir hesap cetveli

kullanılarak gerçekleştirilebilecek bir noktaya taşımıştır. Cross'un yöntemi, yerçekimi yüklerinden kaynaklanan kuvvet ve momentlerin hesaplanmasında olduğu kadar, rüzgâr yüklerinden kaynaklanan etkilerin hesaplanmasında da büyük bir kolaylık sağlamış ve bu da yüksek katlı bina tasarımcıları için son derece önemli bir avantaj oluşturmuştur (Addis, 2007, s. 469). Karmaşık yapısal sistemlerin çözümünü temel matematik işlemlerine indirgeyerek, yapı mühendisliği pratiğinde devrim niteliğinde bir değişim yaratmış olan bu yöntem, strüktürel mekaniğin gelişiminde yeni bir dönüm noktası teşkil etmiştir.



Şekil 2.28 Maillart'ın 1939 İsviçre Ulusal Fuarı için tasarladığı "Beton Salon"da tavan ve duvarları bütünleştiren kabuk form-strüktür (Billington, 1985, s. 168).

Strüktür tasarımında hesaplamalı yöntemlerin evrimi, David Billington'ın "strüktürel sanat" olarak adlandırdığı kavramın gelişmesine yol açmıştır (Billington, 1985, ss. 4-6). Bu kavram, matematiksel ilkeler ve estetik ifadenin sentezi yoluyla verimlilik, ekonomi ve zarafette üstün bir seviyeye ulaşan yapıları tanımlamak için kullanılmış ve matematik optimizasyonun hem yapısal açıdan verimli, hem de görsel olarak etkileyici formlar üretebileceğinin kanıtı olmuştur.

Bu anlamda strüktürel hesaplama yöntemlerinin gelişimi sadece teknik bir ilerlemeyi değil, aynı zamanda matematiksel analiz ile mimari tasarım arasındaki ilişkinin temel bir dönüşümünü de temsil etmektedir. Matematiksel yöntemlerin

artan karmaşıklığı, mühendislerin strüktürü eşi görülmemiş bir hassasiyetle analiz ve optimize etmelerini sağlamış, bu da mimari ifadede yeni olanakların önünü açmıştır. Bu dönüşüm, strüktür matematiği ile estetik ifadenin fiilen entegrasyonuna zemin hazırlamıştır. Yirminci yüzyıl mimarisinin karakteristiği haline gelecek olan bu entegrasyon ile ortaya çıkan yeni estetik duyarlılık, Pier Luigi Nervi gibi mimar-mühendislerin çalışmalarında gözlenen ve etkileri günümüze kadar devam eden strüktürel tasarım ilkeleri ortaya çıkarmıştır.

Form, strüktür ve inşaat arasındaki uyumu vazgeçilmez bir değer olarak kabul eden Nervi mimarisinin hareket noktası, bu uyum arayışıdır. Bu arayışın dönüştüğü ekonomi ilkesi bir yandan tasarımcının etik anlayışına yön verip çözümünün doğruluğunu değerlendirirken, diğer yandan da strüktürü şekillendiren temel fizik yasaları aracılığıyla, eserin estetiğini evrensel düzeninin bir yansıması olarak ortaya koymaktadır. Günümüzde bile hayranlık uyandırmaya devam eden Gotik katedraller ve Rönesans kubbeleri gibi tarihsel örneklerin başarısını, tasarımcılarının yerçekimi ve denge yasalarını sezgisel bir kavrayışla yapıya dönüştürebilme becerisinde gören Nervi için yeni malzemeler, modern mühendislik bilimi ve matematiksel hesaplamalar yalnızca bu sezgisel kavrayışı destekleyen, zenginleştiren araçlardır. Nervi'nin strüktürel estetiği elbette bu araçlarla desteklenen, ancak temelde mimari bir sezgiye dayanan, form ve fonksiyonun yapısal bir harmonisini önceleyen, bütünleşik bir yaklaşım içermektedir. Her tasarımına önceden belirlenmiş estetik teorilerden veya geçmiş çözümlerden arınmış bir biçimde, en uygun teknik ve ekonomik çözümü arayarak başlayan Nervi'nin bu yaklaşımı, ona her projenin özgün taleplerine doğrudan cevap veren yenilikçi yapısal formlar keşfetme imkânı sağlamıştır (Radelet-deGrave, 2018, ss. 1097-1100). Böylece, strüktürel verimliliğin görsel zenginlikten yoksun binalar üretmek zorunda olmadığını gösterirken, aynı zamanda mimari ifadenin yapı üzerine dışarıdan dayatılan bir unsur olmak yerine, strüktürel gerekliliklerden organik olarak filizlenebileceğini de kanıtlamıştır. Bu diyalektik yaklaşımın teknolojik ilerleme, malzeme verimliliği ve estetik duyarlılık arasında kurduğu hassas ilişki, Nervi'nin mirasını günümüz mimarlık söyleminde halen canlı ve ilham verici kılmaktadır.

3
PIER LUIGI NERVI: "MİMAR-MÜHENDİS"

Yirminci yüzyıl mühendisliğinin en önde gelen figürlerinden biri olan Nervi, tasarımcı, mühendis ve inşaatçı rollerini tek bir potada eriterek, strüktürel mantık ve estetik zarafetle tanımlanan özgün bir mimari miras yaratmıştır. Hayatı ve eserleri, disiplinli bir yetiştirilme tarzı, döneminin politik güçleriyle kurduğu karmaşık bir ilişki ve aralıksız bir yenilikçilik arayışıyla şekillenmiştir.

Bir posta müdürünün oğlu olarak 21 Haziran 1891'de İtalya'nın Sondrio kentinde doğan Nervi'nin gezgin çocukluğu Ancona'da son bulmuştur. Burada pedagojik disipliniyle bilinen bir Katolik tarikatı olan Piaristler tarafından yönetilen bir ortaokula gönderilen Nervi'nin bu okulda edindiği titiz düşünce tarzı ve ekonomik disiplin, kendisine tüm yaşamı boyunca eşlik etmiştir (Leslie, 2017, s. 4). Matematik ve bilime olan yatkınlığı onu Bologna Üniversitesi'nde önce Fizik ve Doğa Bilimleri Fakültesi'ne, ardından Mühendislik Fakültesi'ne yönlendirmiş ve 1913 yılında buradan mühendis olarak mezun olmuştur (Neri, 2018, s. 35).

Mezuniyetinin hemen ardından, François Hennebique'in patentli betonarme sisteminin İtalya'daki lisans sahibi olan Attilio Muggia'nın yanında çalışmaya başlayan Nervi, Birinci Dünya Savaşı'nda istihkam sınıfındaki hizmetinin ardından 1923 yılında Roma'da Nervi & Nebbiosi firmasını kurmuştur. Aynı yıl Faşist Mühendisler Birliği'nin Floransa şubesine kısa bir süre liderlik etmiş, ancak ertesi yıl "hayal kırıklığına uğrayarak" görevden ayrılmıştır. Rejimle ilişkisi "gönülsüz bir kabullenme" olarak tanımlanabilecek Nervi'nin Nazizm'e karşı tutumu ise kesin olmuştur. 1943 yılında İtalya'nın Naziler tarafından işgali üzerine işbirliği yapmamak için şirketini kapatmış ve oğlu Vittorio'nun ifadesine göre, aranan öğrencileri evinde saklamıştır (Iori, 2009, ss. 21-24).

Savaş sonrası İtalya'sının yeniden inşasında kilit bir figür olan Nervi, 1945'te Roma'da yeni bir mimarlık okulunun kurucuları arasında yer almıştır. Torino'daki 1948 Sergi Salonu gibi eserleri, ülkenin ekonomik mucizesinin birer simgesi haline gelmiştir. 1954 yılında oğullarıyla birlikte kurduğu Studio Nervi ile çalışmalarını uluslararası alana taşıyan mimar-mühendis, bu dönemde Paris'teki UNESCO Genel Merkezi, Milano'daki Pirelli Kulesi ve 1960 Roma Olimpiyatları için tasarladığı ikonik yapılar (Şekil 3.1) gibi projelere imza atmıştır (Rossi C. , 2024, ss. 67-68).



Şekil 3.1 Nervi, Roma'da inşa ettiği Palazzetto dello Sport önünde, 1957 (Iori, 2009, s. 86).

Yirminci yüzyılın büyük bir bölümünü kapsayan, bu arada durmadan gelişmeye ve genişlemeye devam eden yaklaşık 70 yıllık profesyonel bir kariyerin ardından Pier Luigi Nervi, 9 Ocak 1979'da Roma'da vefat etmiştir (Iori, 2009, s. 31). Ülkesinde bizzat tasarlayıp inşa ettiği yapıların yanısıra, dünyanın farklı bölgelerinde çok sayıda yapının tasarımına da katkıda bulunmuş taşralı bir İtalyan mühendisin yıldız mimarlığa uzanan yolculuğu, yaratıcı bir zihin ve pragmatik bir iradeyle nelerin başarılabileceğinin en somut ve ilham verici anlatısı olarak kalmıştır (Tablo 3.1).

Tablo 3.1 Nervi'nin tasarladığı ya da tasarımına katkıda bulunduğu yapılar

Bina Adı	Kent	Ülke	Yapım Yılı
Augusteo Sineması	Napoli	İtalya	1925–1929
Giovanni Berta Stadyumu	Floransa	İtalya	1929–1932
Uçak Hangarları	Orvieto	İtalya	1935–1942
Torino Sergi Sarayı	Torino	İtalya	1947–1950
Gatti Yün Fabrikası	Roma	İtalya	1951–1953
UNESCO Genel Merkezi	Paris	Fransa	1953–1958
Fiat Fabrikası	Torino	İtalya	1954–1955
Küçük Spor Sarayı	Roma	İtalya	1956-1957
Pirelli Kulesi	Milano	İtalya	1956–1960
Flaminio Stadyumu	Roma	İtalya	1957–1959
Büyük Spor Sarayı	Roma	İtalya	1958–1960
Emek Sarayı	Torino	İtalya	1960–1961
Australia Square Binası	Sidney	Avustralya	1961–1967
Washington K. Otobüs Terminali	New York	ABD	1961–1963
Burgo Kağıt Fabrikası	Mantua	İtalya	1961–1964
Leverone Field House	Hanover	ABD	1961–1962
Borsa Binası	Montreal	Kanada	1963–1964
Papalık Dinleyici Salonu	Vatikan	Vatikan	1963–1971
Cromodora Binası	Venaria	İtalya	1966
Meryem Ana Katedrali	San Francisco	ABD	1967–1971
Banca Monte Parma Binası	Parma	İtalya	1968-1974
Edmund Barton Binası	Canberra	Avustralya	1970-1974
İtalya Büyükelçiliği	Brasília	Brezilya	1971-1977
Norfolk Scope Arena	Norfolk	ABD	1971
Chrysler Hall	Norfolk	ABD	1972
MLC Centre	Sidney	Avustralya	1973
Avustralya Büyükelçiliği	Paris	Fransa	1973-1977
Thompson Arena	Hanover	ABD	1973–1974
Good Hope Centre	Cape Town	Güney Afrika	1976

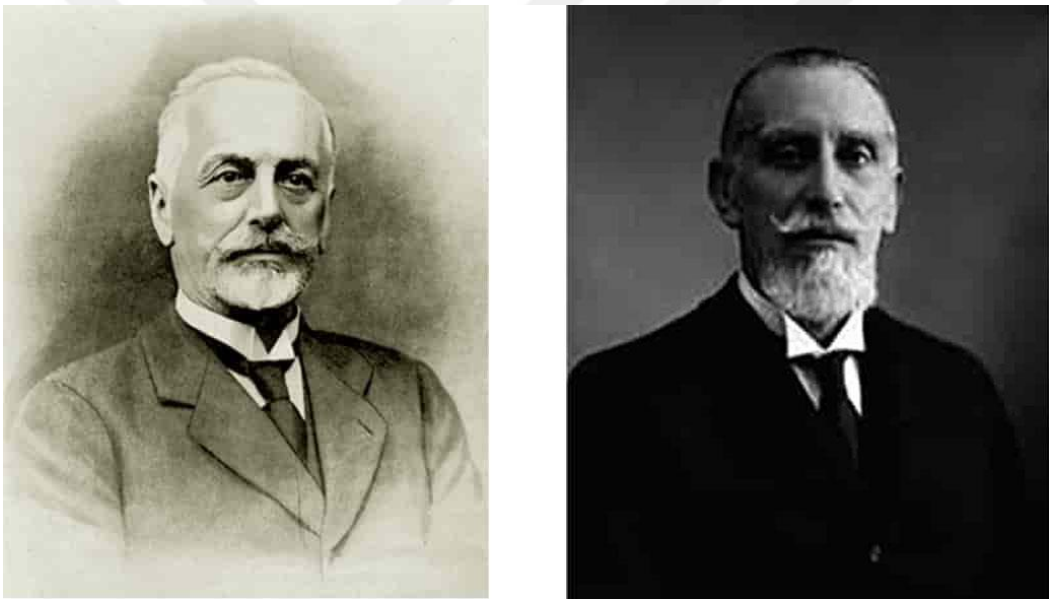
3.1 Tasarım Felsefesinin Oluşumu

Nervi'nin entelektüel yolculuğu, 20. yüzyılın başlarını tanımlayan yükselişteki bilim ve teknoloji alanlarına duyduğu geniş kapsamlı bir ilgiyle başlamıştır. İlk akademik girişimi, Bologna Üniversitesi Matematik, Fizik ve Doğa Bilimleri Fakültesi'nde iki yıllık bir programdır. Burada matematikçi Salvatore Pincherle ve kimyager Giacomo Ciamician gibi seçkin isimlerle tanışarak, titiz bilimsel ilkelerin hakim olduğu bir akademik dünyaya adım atmıştır. Havacılığa duyduğu tutkuya rağmen sağlık muayenesinin olumsuz sonuçlanması nedeniyle Torino'daki askeri akademiye girmesi mümkün olmayan Nervi, daha sonra Bologna'daki Mühendislik Uygulama Okulu'na kaydolmuştur (Neri, 2024, s. 17). İnşaat mühendisliğinin teknik becerilerini sanatsal disiplinlerle birleştirmek üzere *Accademia di Belle Arti*'den alınan mimarlık derslerinin de müfredata dahil olduğu bu disiplinlerarası ortam, Nervi'ye mesleki yaşamı boyunca geliştirerek sürdüreceği sentezleyici bir zihinsel yaklaşım kazandırmıştır (Abram, 2018, s. 235).

Burada filizlenen felsefesini şekillendirmede belirleyici bir rol oynayan akademisyenlerin ilki, betonarme çalışmalarında İtalya'nın öncülerinden olan uygulamalı mekanik profesörü Silvio Canevazzi'dir (Şekil 3.2a). Nervi'nin "çok berrak bir zekaya sahip; kendi teorilerinin sınırlarını ve derin anlamını değerlendirebilen az sayıdaki teorisyenden biri" olarak tanımladığı Canevazzi, o dönem öğrencilerini François Hennebique'in Roma'daki Ponte del Risorgimento köprüsü etrafında dönen hararetli tartışmalarla tanıştırmıştır. 1911'de tamamlanan bu 100 metrelik tek açıklıklı kemer köprü, strüktür analizinin fazlasıyla basit bir biçimde yapılmış olması nedeniyle ampirik sağlamlığına rağmen yıkılacağını iddia eden birçok akademisyen tarafından yoğun bir biçimde eleştirilmiştir. Fiziksel kanıtlar karşısında soyut hesaplamanın sınırları üzerine temel bir ders niteliğindeki bu olay, Nervi'ye deneysel doğrulamadan kopuk kuramsal tahminlere karşı dikkatli olmayı öğretmiş ve betonarmenin karmaşık, kompozit ve homojen olmayan doğasının mevcut formüllerle şematize edilmesinin ne kadar zor olduğunu göstermiştir. Tamamen matematiksel bir yaklaşımın yetersiz olduğu ve yeni tasarım ufuklarının aralıksız deneylerle araştırılması gerektiği yönündeki yaşam boyu sürecek bir inancın tohumları da böylece ekilmiştir (Neri, 2024, s. 19).

İkinci önemli figür, aynı zamanda oldukça aktif bir mühendis, mimar ve girişimci olan teknik mimarlık profesörü Attilio Muggia'dır (Şekil 3.2b). Hennebique

patentinin İtalya'daki az sayıda imtiyaz sahibinden biri olan Muggia, ülkedeki betonarme uygulamalarının ön saflarında yer almıştır. Nervi de, 1913 yılındaki mezuniyetinin ardından kariyerine Muggia'nın firması *Società Anonima per Costruzioni Cementizie*'de başlamıştır. Kuramcı, tasarımcı ve inşaatçı yönlerini başarılı bir biçimde bütünleştirmiş olan Muggia, Nervi için ilk işvereni olmanın ötesinde, mesleki bir rol modeli de olmuştur. Burada yalnızca Hennebique sistemini değil, aynı zamanda tasarım ve hesaplamadan işgücü ve kaynak yönetimine kadar bir şantiyenin tüm ekosistemini de öğrenen Nervi için Canevazzi'nin aşıladığı eleştirel bakış açısıyla birleşen bu pratik ve bütüncül deneyim tüm kariyerini üzerine inşa edeceği sağlam bir temel oluşturmuş, mesleki kimliğinin tasarımcı ve inşaatçı yönleri daha en başından itibaren birlikte gelişme imkanı bulmuştur (Neri, 2024, ss. 20-21).

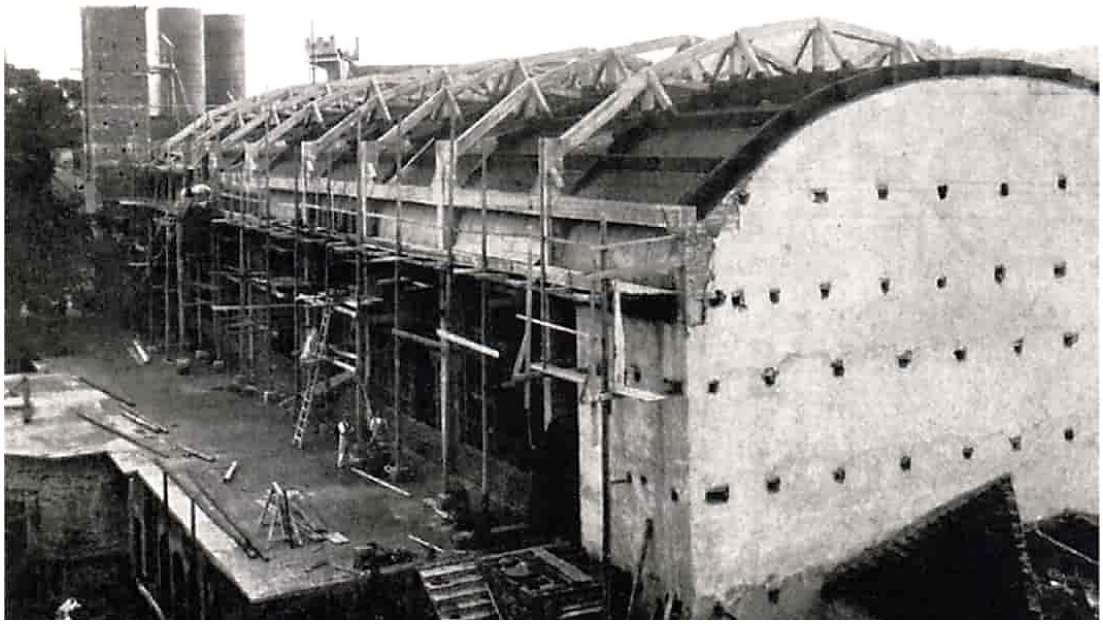


Şekil 3.2 Solda Silvio Canevazzi (1852-1918) ve sağda Attilio Muggia (1861-1936) (Neri, 2024, ss. 19-20).

1915 yılında askere alınan Nervi, geçirdiği bir tifo nöbetinin ardından Hava Kuvvetleri İstihkam Sınıfı'na atanmış ve burada bir dizi özgün fikrini icada dönüştürme fırsatı bulmuştur. Bu süreçte geliştirdiği çeşitli patentler, gelecekteki inşaat icatlarının da temelini oluşturacak olan dikkat çekici bir teknik çok yönlülük ve ampirik bir tutum sergilemiştir. Bu dönemden özellikle dikkat çeken bir çalışması, gerilme mukavemetini artırmak için karışım boyunca dağıtılmış metal atık elemanlarla güçlendirilmiş bir malzeme olan 1917 tarihli "sidero-çimento" patentidir. Toplam metal miktarını azaltabilmek için karışımın mekanik

niteliklerini geliştirmeye odaklanan bu konsept, yıllar sonra *ferroçimento*'yla sonuçlanacak olan yenilikçi malzeme araştırmalarının öncüsü olmuştur (Neri, 2024, ss. 21-22).

Terhis olmasının ardından 1919 yılında eski işvereninin Floransa ofisine daha geniş bir özerklikle geri dönen Nervi, burada oyun salonları, depolar, garajlar, sarnıçlar ve köprüler gibi çok sayıda sivil yapı tasarlamıştır (Şekil 3.3). Bu dönemde, teknik çalışmalarına paralel olarak kamusal bir kimlik oluşturmaya da başlamış ve inşaat sektörünün disiplinlerarası tartışmalarına aktif olarak katılmıştır. Meslek birlikleri aracılığıyla gelecekteki tasarımcı ve girişimci kimliği için temel oluşturacak bir profesyonel ilişkiler ağı geliştiren Nervi, 1921 yılında Ulusal Mühendisler Derneği'nin Floransa Şube Sekreteri olarak atanmıştır. Ertesi yıl, Mussolini'nin yeni hükümeti tarafından uygulamaya konan ve meslek loncalarına son derece özen gösteren reformların ardından Nervi, Faşist Konfederasyon'a bağlı Ulusal Mühendisler Birliği'nin Floransa şubesinin kuruluşuna katkıda bulunmuş ve 1923'te başkanı seçilmiştir (Neri, 2018, ss. 36-37).



Şekil 3.3 Nervi'nin ilk büyük ölçekli betonarme çatı tonozu, Floransa, 1920 (Neri, 2024, s. 22).

Aynı yıl Muggia ile yaşadığı görüş ayrılıkları nedeniyle kendi işini kurmaya karar vererek istifa eden Nervi, Romalı girişimci Rodolfo Nebbiosi ile *Società per Costruzioni Ing. Nervi & Nebbiosi Cementi Armati* şirketini kurarak Roma,

Floransa ve Napoli'de şubeler açmıştır. Kariyerindeki bu yeni evre, kişisel yaşamındaki önemli olaylarla da aynı zamana denk gelmiş, 1924 yılında evlenen Nervi, Roma'ya taşınmıştır (Neri, 2018, s. 38).

Sektöre hızlı bir giriş yapan Nervi & Nebbiosi firması, kısa sürede İtalya'nın çeşitli yerlerinde başta tiyatrolar, sinemalar ve endüstriyel tesisler olmak üzere düzinelerce yapı tasarlayıp inşa etmiştir. Bu arada, 1926 yılında *Gruppo 7*'nin ve 1928'de İtalyan Rasyonel Mimarlık Hareketi'nin kurulması, İtalya'da modern mimarlık üzerine canlı bir tartışma başlatmıştır (Neri, 2024, ss. 29-34). Temel bir ilke olarak teknolojinin estetik potansiyelini yücelten bu yeni mimari iklimde, en modern inşaat malzemesine olan hakimiyetiyle Nervi, mükemmel bir biçimde konumlanmıştır. Kendi firmasını kurmuş, çok çeşitli projelerde teknik becerilerini geliştirmiş, kamusal bir ses edinmiş ve zamanının karmaşık mesleki ve politik akımlarında yolunu bulmuştur. Betonarme konusunda ustalığa ulaşmış, ancak o güne kadar büyük ölçüde geleneksel paradigma içerisinde faaliyet göstermiş olan Nervi, nihayet strüktürün içsel mantığını mimari ifadenin doğrudan aracı olarak konumlandırma fırsatını da, bu yeni mimari düşüncenin coşkulu ortamında bulmuştur.

3.2 Mühendislik ile Mimarlığın Sentezi

Görkemli formlar inşa eden bir usta yapıcı olmanın ötesinde, mesleki alanının özünü tanımlamaya çalışan yoğun ve adanmış bir kuramcı da olan Nervi'nin on yıllar boyunca inşaat projelerinin paralelinde geliştirdiği yazıları, ünlü kitabının başlığında sorduğu temel bir soruyu yanıtlama yönündeki süregelen çabasını ortaya koymaktadır: *Scienza o arte del costruire?* ("İnşa Etme Sanatı mı, Bilimi mi?"). 1945 yılında yayınlanan ve yaklaşık yirmi yıldır geliştirmekte olduğu düşüncelerinin zirvesi sayılabilecek olan bu eserde, inşa etmenin sadece matematiksel formüllerle çözümlenemeyecek strüktürel ve teknik yönleri bulunan bir sanat olduğu yönündeki inancını açık bir biçimde ifade eden Nervi'ye göre mühendisliğin katı bir bilim, mimarlığın ise özgür bir sanat olarak algılanması, her iki alanın da potansiyelini sınırlayan, hatalı bir bakış açısıdır (Neri, 2018, s. 43). Matematiksel nesnelliğe duyulan hakim pozitivist inanca doğrudan bir meydan okuma niteliğindeki Nervi felsefesi, yaratıcı sürece yönelik ve temelini "inşa etmenin hesaplanamaz unsurları" üzerindeki sezgisel, deneyimsel ve bütüncül bir

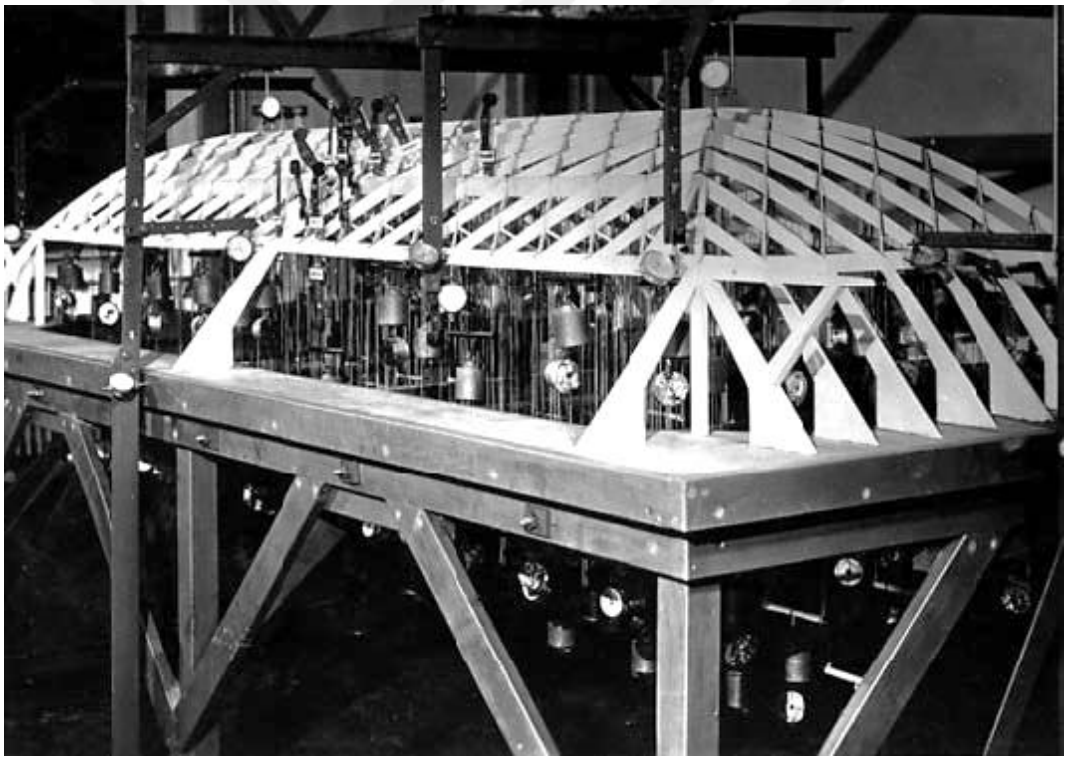
hakimiyetin oluşturduğu, daha incelikli bir kavrayışı savunmaktadır (Huxtable, 1960, s. 17).

Nervi'nin tasarım felsefesinin en belirleyici ve onu çağdaşlarından en net şekilde ayıran unsuru, "statik sezgi" olarak adlandırdığı bu kavrama duyduğu derin inançtır. 1930'larda resmi olarak ifade etmeye başladığı bu kavram, yaratıcı süreçte matematiksel hesaplamanın varsayılan nesnelliğine ve yeterliliğine yönelik doğrudan bir meydan okumayı temsil etmektedir. 1931 yılında yayımlanan *Scienza o arte dell'ingegnere?* ("Mühendisin bilimi mi, sanatı mı?") başlıklı makalesinde, kuramsal çalışmalarının ana teması haline gelecek bir tez olarak fiziksel fenomenlerin karmaşık gerçekliğinin, özellikle de betonarmenin esrarengiz davranışının, herhangi bir kuramsal çerçeve tarafından tam olarak yakalanamayacak kadar fazla değişken ve bilinmeyen sunduğunu savunmuştur (Neri, 2018, s. 40).

Matematiksel formüllerin yaratım için değil, doğrulama için vazgeçilmez araçlar olduğunu ısrarla tekrarlayan Nervi'ye göre bu formüllerin rolü, zaten tasarlanmış, genel hatları ve boyutsal ilişkileriyle tanımlanmış bir yapının stabilitesini analiz ve kontrol etmektir. Bir tasarımın temel karakterinin belirlendiği oluşum aşaması ise strüktür teorilerinden faydalanamaz ve sezgisel, şematik basitleştirmelere başvurmak zorundadır. Bu yaklaşım, sanatsal bir heves uğruna bilimin reddedilmesi değildir; Nervi'nin saf kurama yönelik kuşkuculuğu, inşaatın somut gerçeklerine dayanmaktadır. Kuram, gerçekte asla var olmayan ideal ve sabit koşulları varsaymaktadır, oysa beton yaşayan bir malzemedir. Nihai kalitesi, yerel olarak temin edilen agregalar, karma ve dökme yöntemleri, kuruma sırasındaki ortam koşulları ve çimento ile kirecin sertleşmeye devam etmesiyle malzemenin zaman içinde sürekli ve yavaş dönüşümü gibi bir dizi değişkene bağlıdır. Dahası, zeminin düzensiz oturması, betonun yüksek termal duyarlılığı ve yük altında maruz kaldığı deformasyonlarla ortaya çıkan "adaptasyon" kapasitesi gibi faktörler, hesaplanamaz değişkenler ortaya çıkarmaktadır. Dolayısıyla statik sezgi, yapıların statik yaşamının sezgisel olarak kavranması ve algılanan olguların kavramsal olarak yeniden inşası olarak tanımlanabilecek, daha derin, daha bütüncül bir anlama biçimidir (Huxtable, 1960, ss. 17-18).

Malzeme özellikleri ve fizik yasaları hakkında derin bir kavrayışa ve şantiyede edinilen bilgi birikimine dayanan bu yeti, Nervi'ye analitik modellerin

sınırlamalarının ötesine geçme ve strüktürel organizmayı bir bütün olarak algılama, ölçülebilen ve ölçülemeyen çok sayıda kısıtlamayı tutarlı bir bütünlük içinde sentezleme imkanı vermiştir. Arturo Danusso ile işbirliği içerisinde Orvieto hangarlarıyla başlattığı ölçekli model testlerine (Şekil 3.4) olan bağlılığı, bu felsefenin doğrudan bir sonucudur; matematiksel modeller yapının karmaşık performansını açıklamada yetersiz kaldığında, gerçek statik kuvvetleri gözlemlemek için laboratuvarda bir "mini şantiye" kurarak ampirik doğrulamaya yönelmiştir (Abram, 2018, s. 240). Profesör Danusso ve daha sonraları Guido Oberti ile Milano Politeknik'te ve Bergamo'daki ISMES laboratuvarında önce selüloitten, sonra mikrobetondan yapılan modellerle gerçekleştirdiği bu testler, otuz yılı aşkın bir süre boyunca mesleki uygulamalarının ayrılmaz bir parçası haline gelmiştir (Chiorino, 2010, s. 108).



Şekil 3.4 Orvieto hangarları için 1:37,5 ölçeğinde hazılanan selüloit model (Neri, 2014, s. 14).

Yapı felsefesinin gelişimine paralel olarak, Nervi'nin teknik etkinlik ile güzellik arasında nesnel bir yakınsama arayan özgün estetik duyarlılığı da bir evrim geçirmiştir. Augusteo Sineması gibi erken dönem eserleri onun yapısal yeteneğini sergilese de, bu yenilikçi betonarme iskeletler, dönemin eklektik zevklerine uygun olarak stilistik süslemelerin arkasında gizli kalmıştır. İşlevsel ve ekonomik

hedeflerle yönlendirilen Giovanni Berta Stadyumu projesi, Nervi'ye betonarme strüktürü tüm cüretkarlığı ve plastisitesiyle sergileme fırsatı ve gerekçesi sunan bir dönüm noktası olmuştur. Burada estetik, uygulanmış bir unsur değil, yapısal çözümün doğasında var olan bir özelliktir. Konsol çatısı, heykelsi sarmal merdivenleri ve açıkta bırakılmış tribün payandaları eleştirmenler tarafından bir süsleme olarak değil, "tamamen işlevsel olanın anıtsal güzelliği" olarak övülmüştür. Bu eleştirel başarı, mühendis Nervi'yi mimarlık dünyasına taşımıştır (Neri, 2018, ss. 38-40).

Stadyumun aldığı övgü dolu yorumlar, onu bir süre için estetiği tasarım sürecine bilinçli bir biçimde, önceden tasarlanmış biçimsel bir yönelim olarak dahil etmeye yöneltmiştir. Kendisini yönlendiren "tam nesnellik ve yargı dinginliğini" kaybetme riskiyle karşı karşıya kalan Nervi, kısa süre sonra mimari etkileyiciliğin, ne kadar bilinçli bir şekilde peşinden gidilirse o kadar zor elde edilen bir şey olduğunu farketmiştir. Bunun üzerine, her türlü önceden tasarlanmış estetik yönelimi terk etmeye ve "kendisine sunulan sorunları sevgiyle inceleyen inşaatçının basit zihniyetine" geri dönmeye karar vermiştir (Neri, 2024, s. 58).

Böylece estetik felsefesini pekiştiren Nervi için güzellik, peşinden koşulacak bir hedef değil, doğru çözülmüş bir sorunun kendiliğinden ortaya çıkan bir özelliğidir. Çalışmaları, mimarlığı form ve strüktürün birbirinden ayrılmaz olduğu, strüktürel bir sanat olarak yeniden tanımlamıştır. Kaburgalı döşemeler, lamelli tonozlar ve yivli kabuklar gibi imzası haline gelen zengin dekoratif unsurlar, hiçbir zaman salt estetik seçimler değildir. Nervi tasarımlarının temel işlevsel parçaları olan bu unsurlar, kuvvetlerin en mantıklı ve en verimli biçimde dağıtılmasına yönelik arayışın doğrudan sonuçlarıdır (Huxtable, 1960, s. 16). Örneğin, Gatti Yün Fabrikası'nın tavanındaki izostatik kaburgalar, ana eğilme momentlerinin doğrudan bir görselleştirmesidir ve fiziksel bir prensibi bir süsleme öğesine dönüştürmüştür. Güzellik ve rasyonelliğin eşdeğerliğine derinden inanan Nervi için nihai form bir zevk meselesi değil, teknik kriterleri, bilimsel mantığı, hayal gücünü ve ekonominin sarsılmaz yasalarını sentezleyen titiz bir sürecin ürünüdür (Huxtable, 1960, s. 17).

Felsefesini aynı zamanda pedagojik bir duruşa da dönüştüren ve 1945'ten 1962'ye kadar ders verdiği Roma Üniversitesi Mimarlık Fakültesi'nde "formül tasarımcısına" olduğu kadar, "güzel resim ekolüne" de karşı çıkan Nervi, hem matematiğin, hem de çizimin sadece birer araç olduğunu ve yanlış

kullanıldıklarında teknik bir fikrin netliğini veya mimari bir ilhamın doğruluğunu bozabileceklerini vurgulamıştır. Mimarlık ve mühendislik okullarının yeniden birleştirilmesi taraftarı olan ve tarihsel ayrımın karşılıklı eksikliklere yol açtığından yakınan Nervi, bir mimarın her teknik dalda uzman olması gerekmediğini, ancak eseri ve birlikte çalıştıkları üzerindeki manevi otoritesini koruyabilmek için sentezleyici bir zihniyete ve genel olarak gayet net fikir ve kavramlara sahip olması gerektiğini savunmuştur. Ona göre teknik eğitim özünde kavramsal olmalı, olanaklara ve sınırlılıklara dair derin bir kavrayış aşılamalıdır, çünkü belirli formüller çabucak unutulur veya bilimsel ilerlemeyle aşılır, oysa iyi yetiştirilmiş bir sezgi kalıcıdır (Huxtable, 1960, s. 18).

3.3 Malzeme ve İfadede Yenilikçilik

İlk kavramsal eskizden nihai uygulamaya kadar tüm yaratıcı süreç üzerinde tam kontrol sahibi olması, Nervi'nin benzeri görülmemiş yapılar tasarlamasına imkan sağlamıştır; çünkü bu sayede Nervi, tasarımlarını inşa etmenin benzeri görülmemiş yollarını da bulabilmiştir. Bu pragmatik zorunluluk, 1930'ların İtalya'sında özellikle belirgin bir hal almıştır. 1935 yılında Etiyopya'yı işgal etmesi üzerine, Milletler Cemiyeti üye devletlerin İtalya'ya stratejik malzeme, özellikle de metal satmasını yasaklayan ağır yaptırımları uygulamaya koymuştur. Faşist rejim bu durumu, zaten korporatist ekonomi politikalarının doğasında var olan "otarşi"yi, yani ekonomik anlamda kendi kendine yeterliliği teşvik etmek için bir fırsat olarak değerlendirmiştir. Bu kritik dönemde ülkenin kısıtlı çelik üretimin neredeyse tamamen silah endüstrisinin kullanımına tahsis edilmesi, aniden çelik donatı çubuklarından ve dolayısıyla da betonarme kullanımından vazgeçmek zorunda kalan inşaat sektörü üzerinde yıkıcı bir etki yaratmıştır. Bir zamanlar modernliğin sembolü olan bu malzeme 1937'de yeterince "İtalyan" olmamakla suçlanmış ve kullanımı ciddi biçimde kısıtlanmıştır. Nihayet 1939 yılında betonarme kullanımının tamamen yasaklanması, Nervi'nin en önemli teknik icatlarının tetikleyicisi olmuştur (Iori, 2009, s. 22).

Araştırmaları onu iki temel sonuca götürmüştür. Birincisi, çelikten tasarruf etmek için beton hacmini azaltmak gerekmektedir ve ince, yoğun donatılı katmanlar, kalın, zayıf donatılı olanlardan daha verimlidir. İkincisi, en büyük tasarruf, pahalı ve israfa yol açan ahşap kalıpların ortadan kaldırılmasıyla elde edilebilecektir.

Ülkesinin içinde bulunduğu ekonomik zorunluluklardan doğan bu ilkeler, Nervi'nin neredeyse tüm mimari edimini şekillendiren iki yeniliğin anahtarı olmuştur. Bunlardan ilki, 1939'da İtalyan Hava Kuvvetleri'nin ikinci seri hangarları için geliştirip patentini aldığı, "strüktürel prefabrikasyon" yöntemidir (Iori & Poretti, 2015, s. 23).

Nervi'nin 1935-1938 yılları arasında Orvieto'da inşa ettiği ve kesişen kemerlerin geleneksel yöntemlerle yerinde döküm yapılarak üretildiği jeodezik bir çatıya sahip olan ilk seri hangarlar strüktürel açıdan sağlam olmakla birlikte, kullanılan yöntem büyük kaburgalı tonozları oluşturmak için karmaşık ve son derece pahalı ahşap kalıplar gerektirmiştir. Nervi, strüktürel prefabrikasyon yöntemiyle yeni seride bu ihtiyacı ortadan kaldırmayı hedeflemiştir (Iori & Poretti, 2013b, s. 118). Zarif bir biçimde basit, ancak devrim niteliğinde bir uygulama olan çözümüyle Nervi, devasa kemerli yapıyı tek bir bütün olarak dökmek yerine, bir dizi küçük, hafif ve kolay yönetilebilir elemanlara ayırmıştır. Bu tekil elemanlar, genellikle sadece basit yan tahtalardan oluşan tekrar kullanılabilir kalıplarla ve hava koşullarından da korunarak, seri bir biçimde şantiye zemininde prefabrike edilmiştir (Şekil 3.5).



Şekil 3.5 İkinci seri Orvieto hangarları için zeminde kalıplanan çatı elemanları (Nervi, 2018, s. 174).

İşçiler tarafından kolayca taşınabilmesi ve yerine yerleştirilebilmesi için ağırlık ve boyutları dikkatle belirlenmiş olan bu parçalar, hazır olduklarında hafif bir iskele sistemi üzerinde nihai konumlarına kaldırılmış ve her parçadan dışarı çıkan donatı çubukları aracılığıyla komşu parçalara kaynakla birleştirilmiş, oluşan düğüm noktalarına yüksek mukavemetli beton dökülmüştür. Tamamlandığında bütünü oluşturan parçalara dair hiçbir görünür izin kalmadığı yapı, tek ve sürekli bir varlık olarak davranan, statik anlamda monolitik bir forma geri dönmüştür (Iori, 2009, s. 23). Zaman, malzeme ve en önemlisi geleneksel kalıp işçiliği için gereken pahalı keresteden önemli ölçüde tasarruf sağlayan ve fabrikada üretilen standart elemanlar anlamındaki endüstriyel prefabrikasyondan tamamen farklı olan bu yöntem, dönemin İtalyan şantiye koşullarına mükemmel bir biçimde uyan, ustalığa dayalı ve pratik bir üretim tekniği olarak Nervi'nin mesleki yaşamı boyunca elden bırakmayacağı temel bir araç haline gelmiştir (Iori & Poretti, 2013b, s. 121).

İkinci olarak, 1943 yılında patentini aldığı ve çimento harcı ile emprenye edilmiş çok katmanlı ince çelik ağlardan yapılmış yeni bir kompozit malzeme olan "ferroçimento", minimum çelik gerektiren ve genellikle hiç kalıp gerektirmeyen, ince, güçlü ve son derece elastik levhalar üretilmesine olanak sağlamıştır. Bir metal ağın harçla emprenye edilmesi Monier ve Lambot gibi 19. yüzyıl öncüleri tarafından araştırılmış olsa da, Nervi'nin formülasyonu ve uygulaması tamamen özgündür ve buluşunun temeli, betonarmenin iki bileşeninin standart oranlarını tersine çevirmeye dayanmaktadır (Neri, 2018, s. 43). Görece az miktarda çelik donatıya sahip büyük bir beton kütlesinden oluşan betonarmenin aksine, Nervi'nin ferroçimentosu ince bir yüksek mukavemetli çimento ve kum harcı tabakası ile emprenye edilmiş ince, ama yoğun çelik ağ katmanlarından oluşmaktadır. Üretim sürecinde işçiler, üst üste serdikleri birkaç kat metal ağı bir tarafından mala veya spatula ile uyguladıkları harçla tamamen doyurmak amacıyla, beton diğer taraftan çıkana kadar metal örgüden itmekte ve sonrasında düzeltmektedir. Sonuçta ortaya çıkan levha tipik olarak yalnızca iki veya üç santimetre kalınlığında, ancak sıradışı mekanik özelliklere sahip olmaktadır (Iori, 2009, s. 24). Savaş sonrasında yapılan laboratuvar testleri Nervi'nin sezgisel bilgilerini doğrulamış ve ferroçimentonun homojen, izotropik, hafif, elastik ve sünek bir malzeme olduğunu ortaya koymuştur. Nervi, ferroçimentonun büyük gerilmelere çatlamadan dayanabilmesi, neredeyse her biçimde kolaylıkla şekillendirilebilmesi ve geleneksel ahşap kalıpları ortadan

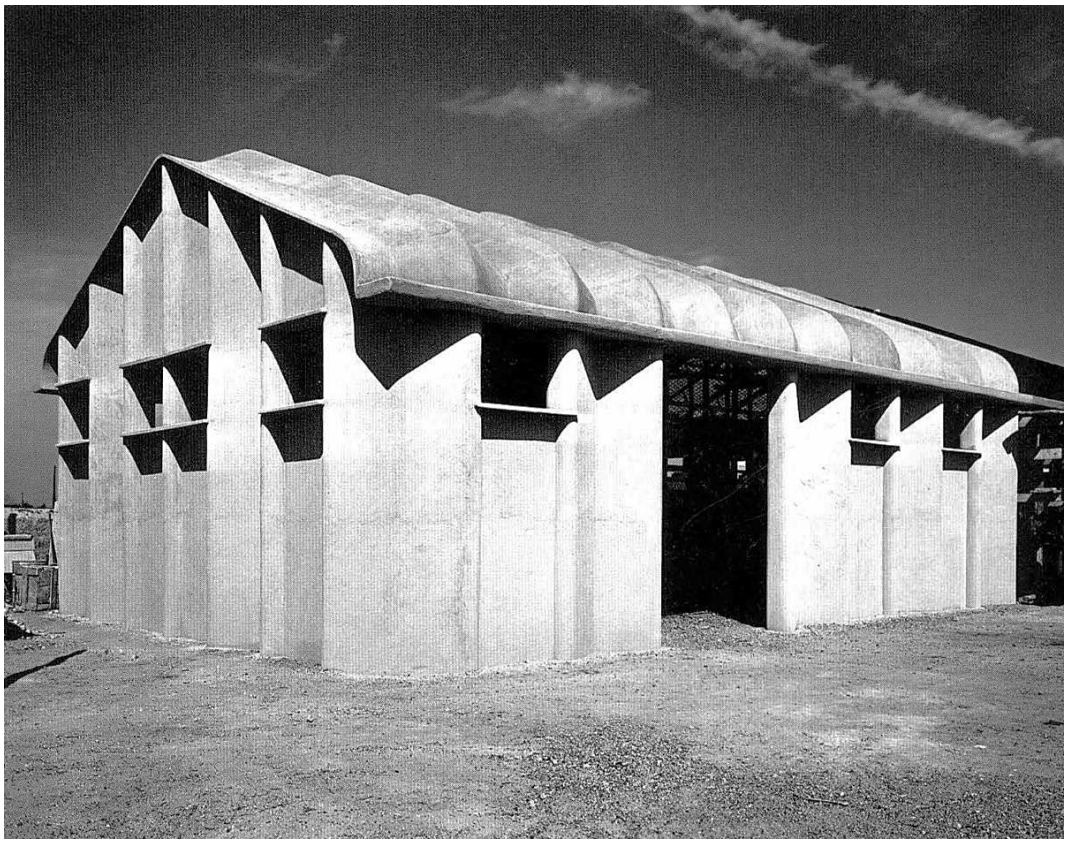
kaldırdığı için son derecede ekonomik olmasının yanısıra, belirli bir açıklık için sıradan betonarmeye kıyasla çok daha az çelik gerektirmesiyle de dönemin otarşik İtalya'sı için çok değerli bir inşaat malzemesi olduğunu göstermiştir (Iori & Poretti, 2015, s. 23).

Elbette, bu ince ve esnek malzemenin inşaatta faydalı olabilmesi için uygun bir form verilerek mukavemetli bir hale getirilmesi gerekmektedir. Nervi, bu tür ince yüzeylerin strüktürel etkinliğinin, kesitlerinin sağlamlığından çok, eğri veya katmanlarla belirlenen formlarından kaynaklandığını anlamıştır. İnce bir ferroçimento levha, tıpkı bir kağıt tabakası gibi uygun biçimde şekillendirildiğinde, örneğin dalgalı veya pileli profillere dönüştürüldüğünde, önemli bir yük taşıyabilmektedir. Doğada yaygın olmasına rağmen henüz tasarımcıların standart statik kavrayışlarının bir parçası olmayan bu "form yoluyla mukavemet" ilkesi, Nervi'nin yerleştirmeye kararlı olduğu bir düşünce alışkanlığıdır (Abram, 2018, ss. 240-241).

Yeni malzemesinin patentini Nisan 1943'te alan Nervi, Eylül ayındaki ateşkesin ardından Nazi güçlerinin Roma'yı işgal etmesi üzerine şirketini kapatmıştır. Bu dönemde ferroçimento levha prototiplerini evinin balkonunda tutması, ona levhaların atmosferik etkenlere karşı dirençlerini test etmek için hesapta olmayan bir fırsat vermiştir. Haziran 1944'te Roma düşman işgalinden kurtarılmış, ince ayarlarla geliştirdiği icadını Eylül ayında yeni bir patentle tescil ettirmiş olan Nervi'nin ilk büyük ölçekli uygulaması da hemen ardından gelmiştir. 1945 yılında Roma'nın Magliana semtindeki şirket arazisinde inşa edilen bir depo tamamen ferroçimentodan yapılmış ve sadece üç santimetre kalınlığındaki dalgalı elemanlardan oluşan çatı ve duvarlarıyla, Nervi'nin yeni icadının sahip olduğu potansiyelin somut bir kanıtı olmuştur (Şekil 3.6). İlerleyen dönemde güçlü ve ince gövdeleri bu yeni malzeme için mükemmel birer uygulama alanı olan bir dizi balıkçı teknesi, motorbot ve gezinti teknesi de ferroçimento portfolyosuna eklenmiştir (Iori, 2009, ss. 24-25).

Nervi'nin hızlı ve ekonomik bir inşaat çözümü ortaya koymak üzere bu icatlarını bir arada uygulamasıyla, zaman içerisinde "Nervi Sistemi" olarak anılmaya başlanan bütünleşik bir inşaat yöntemi ortaya çıkmıştır. Strüktürel prefabrikasyon sayesinde yüksek maliyetli ve yeniden kullanımı zor ahşap kalıplara olan ihtiyacı neredeyse tamamen ortadan kaldıran Nervi Sistemi, ferroçimentodan üretilen

elemanların inceliği sayesinde de hem malzeme maliyetlerini, hem de yapı üzerindeki ölü yükleri azaltmıştır. Dahası, şantiyenin birbirinden bağımsız iki paralel sektöre bölünmesine olanak tanımış, böylece ana şantiyede işçiler kazı, temel ve kolonlarla ilerlerken, aynı anda bitişikteki bir prefabrikasyon avlusunda diğer ekipler çatı montajı için gereken binlerce parçayı hazırlayabilmiştir (Iori & Poretti, 2013b, s. 121). Gerçek dünya sorunları karşısında üretilmiş pratik çözümler olarak, savaş sonrasında yeniden yapılanma mücadelesi veren İtalya'nın ihtiyaçları doğrultusunda geliştirerek zamanla mükemmelleştirdiği Nervi Sistemi'nin sağladığı maliyet ve süre avantajı, Nervi'nin kariyeri boyunca süren ihale başarılarının da anahtarı olmuştur.



Şekil 3.6 Ferroçimento, yapısal ölçekte ilk kez 1945 yılında Magliana'daki bir depoda uygulanmıştır (Iori, 2009, s. 24).

Nervi Sistemi, ekonomi ve verimlilik odaklı bir yaklaşımın yalnızca özgün estetik sonuçlar üretmekle kalmadığını, aynı zamanda yenilikçi teknik çözümler geliştirmede de kritik bir rol oynadığını somut biçimde ortaya koymuştur. Bu anlamda Nervi'nin tasarım felsefesi, mühendisin entelektüel titizliği ile mimarın yaratıcı ruhunu sentezlemek için ömür boyu süren bir çabanın ve bir birikim sürecinin ürünüdür. Kariyeri, aynı zamanda 1955 tarihli kitabının başlığını da

oluşturan *costruire correttamente* (“doğru inşa etme”) ilkesinin etrafında şekillenmiştir; yapısal, işlevsel ve ekonomik doğruluğun yalnızca muteber binalar elde etmek için değil, aynı zamanda sanatın doruklarına yükselebilecek eserler yaratmak için de gerekli ve yeterli koşullar olduğu inancı, onun için mimarlığın özüdür (Huxtable, 1960, s. 17).

3.4 Mesleki Pratiğinin Evrimi

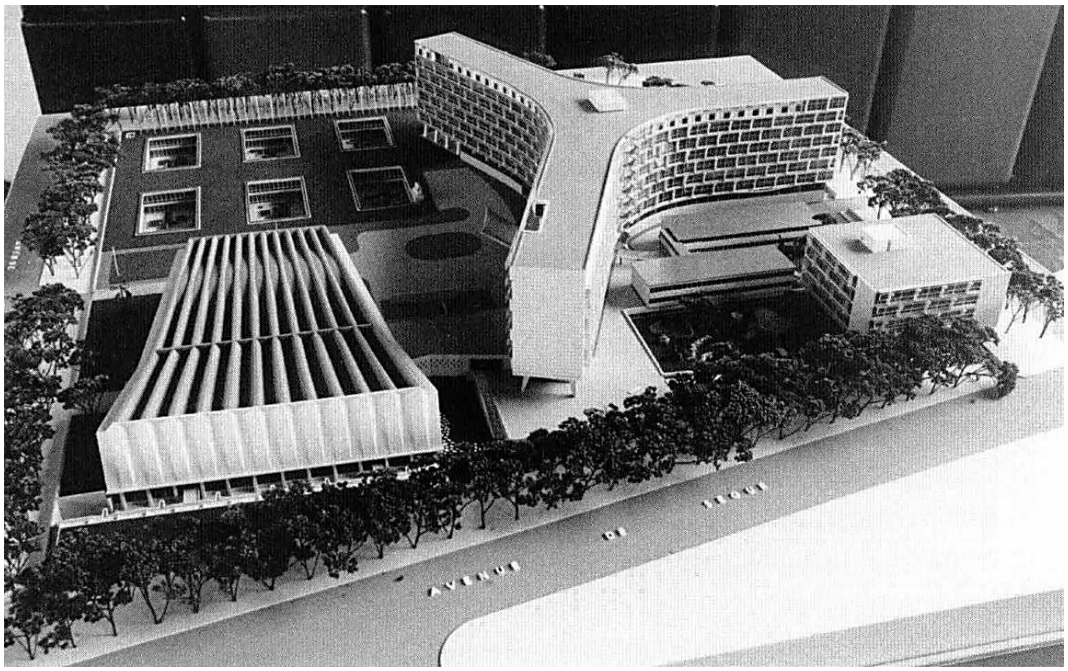
İtalya’nın savaş sonrası yeniden yapılanma aciliyeti ve ardından gelen hızlı büyüme, ulusal inşaat endüstrisi için olağanüstü bir hareketlilik ortamı yaratmış ve Nervi’nin yöntemlerini geliştirmesi için ideal koşulları sağlamıştır. 1950’lerin başında Roma’daki Gatti Yün Fabrikası’nda yenilikçi izostatik kaburgalı döşeme sistemini, Tortona’daki Tuz Depoları’nı ve Ostia’daki Kursaal tesisini içeren çok sayıda önemli eseri tamamlamış olsa da, onu uluslararası bir üne kavuşturan asıl olay, 1960 Roma Olimpiyat Oyunları için aldığı bir dizi sipariş olmuştur. Avrupa ve Amerika Birleşik Devletleri’nde 100’den fazla televizyon kanalında yayınlanan oyunlar, Nervi yapılarını efsanevi spor etkinliklerinin arka planı olarak sergilemiş ve “başyapıt” olarak adlandırılan bu yapıların büyük beğeni toplanmasını sağlamıştır. Estetik başarılarının yanısıra, bu projeler aynı zamanda birer inşaat mucizesidir: Nervi Sistemi sayesinde dört büyük yapı, 1956’dan 1960’ın başlarına kadar, yalnızca dört yıl içerisinde tasarlanıp inşa edilmiştir (Iori, 2009, s. 21).

Olimpiyatların uluslararası basında geniş yer bulması, Nervi’yi adeta küresel bir ikona dönüştürmüştür. Dünyanın dört bir yanından sayısız siparişin yanısıra, Kraliyet İngiliz Mimarlar Enstitüsü’nden Kraliyet Altın Madalyası (1960) ve AIA Altın Madalyası (1964) da dahil olmak üzere sayısız ödül, onur ve fahri doktora ünvanı alan Nervi’nin kariyerinin bu yeni evresi, çalışma yönteminde temel bir değişikliği zorunlu kılmıştır. İnşaat firması Nervi & Bartoli’nin büyük yabancı kuruluşlarla rekabet edemeyecek kadar küçük olması ve dolayısıyla yurtdışındaki projelerinin inşaatçısı olamaması nedeniyle, ayrı bir tasarım atölyesi olarak 1954 yılında kurmuş olduğu *Studio Nervi* aracılığıyla yerel mimar ve mühendislerle ortaklıklar kurmaya başlamıştır (Iori, 2009, ss. 26-31).

Tasarımın inşaattan bu şekilde ayrılması, kritik bir değişimi de beraberinde getirmiştir. İtalyan şantiyesinin özgün ekonomik ve işgücü koşullarına sıkı sıkıya

bağlı, bütüncül bir süreç olan Nervi Sistemi'nin doğrudan ihraç edilememesinin bir sonucu olarak, Nervi'nin özgün inşaat tekniği, yurtdışı projelerinde bir mimari üsluba dönüşmüştür. "Nervi Üslubu", üçgen veya eşkenar dörtgen desenli kubbeler ve tonozlar, izostatik kaburgalı tavanlar ve anıtsal şekilli, değişken kesitli kolonlar gibi kendine özgü biçimsel elemanlarıyla uluslararası ölçekte tanınır hale gelmiştir (Iori & Poretti, 2013b, s. 125). Yurtdışında gerçekleştirdiği projeler Nervi'nin ustalıklı inşaat tekniğinden yararlanamamış olsalar da, onun özgün tasarım yaklaşımını korumuş ve dünya çapında İtalyan mühendisliğinin itibarını pekiştirmeye yardımcı olmuştur.

İtalya dışındaki ilk önemli eseri, Marcel Breuer ve Bernard Zehrfuss ile işbirliği yaptığı Paris'teki UNESCO Genel Merkezi projesidir (Şekil 3.7). Uzaktan yönettiği bu projede imzasının en belirgin olduğu yapı, ince ve oluklu yüzeylerin biçimlendirdiği özel formuyla yapısal direnç sağlayan brüt beton duvarlara ve çatıya sahip olan, trapezoid planlı konferans salonudur (Neri, 2018, s. 49). Ardından New York'ta gerçekleştirdiği George Washington Köprüsü Otobüs Terminali, bitişiğindeki köprünün açıkta bırakılmış çelik yapısıyla güçlü bir biçimsel diyalog kuran, devasa betonarme makasların oluşturduğu dramatik bir üçgen desene sahip olan çatısıyla dikkat çekmektedir (Neri, 2018, s. 51).



Şekil 3.7 UNESCO Genel Merkezi projesinin maketi (Iori, 2009, s. 53).

Montreal'de Luigi Moretti ile birlikte tasarladığı Borsa Kulesi özgün betonarme yapısıyla eleştirmenlerin büyük beğenisini kazanmışsa da, yurtdışında gerçekleştirdiği belki de en cüretkar proje, Pietro Belluschi ile birlikte tasarladığı San Francisco'daki Meryem Ana Katedrali olmuştur (Neri, 2018, s. 51). Yapı, çatının zirvesinde bir haç oluşturmak üzere yükselen dört devasa hiperbolik paraboloitten oluşmaktadır. Burada, eğri yüzeylerle yükselen kubbenin karmaşık kaburgalı iç mekanını oluşturmak üzere projeye uyarlanmış ferroçimento elemanlar kullanılmıştır (Chiorino, 2010, s. 108). Bu dönemde Nervi ayrıca Dartmouth Koleji için iki kapalı arena ile, Virginia'daki merkezi planlı Norfolk Scope Arena'yı tasarlamış, Harry Seidler ile Sydney'deki Australia Square Tower ve MLC Centre isimli iki büyük gökdelen projesinde işbirliği yapmıştır (Neri, 2018, ss. 51-52).

İlerleyen yaşına rağmen yoğun bir tempoda çalışmaya devam eden Nervi, yurtdışındaki projelerinin paralelinde, yine kendi ekip ve ekipmanıyla, Nervi Sistemi'nin son büyük uygulamasında bir kez daha usta yapıcı rolünü üstlenmiş ve Vatikan'da, Aziz Petrus Bazilikası'ndan sadece birkaç metre uzaklıktaki tarihle yüklü bir bağlamda binlerce inananı ağırlayacak trapezoid planlı devasa bir yapı olan Papalık Dinleyici Salonu'nu tasarlayıp inşa etmiştir. Bu son büyük başyapıtı, Nervi'nin yaşamı boyunca araştırdığı temaların adeta bir özeti olmuştur. Muazzam mekan, yaklaşık 25 yıl önce Torino Sergi Salonu için yaptığı görkemli çatıyı anımsatan, prefabrike dalga elemanlarının oluşturduğu kompozit bir tonozla örtülmüştür. Papalık Tahtı'na doğru yönlendirilen bu dalgalar geniş mekanı odaklarken, tavanda bir ritm ve dinamizm yaratılmıştır. Nervi'nin bu projede kullandığı ve Apuane mermerinden parçacıklar ile özel bir tür beyaz çimento içeren beton, bitişikteki ünlü bazilikaya referans veren parlak bir yüzey oluşturmuştur (Neri, 2018, s. 54). Bu son büyük eserinde tüm repertuvarını kullanan Nervi, strüktürel yeniliklerini mekana ve amaca yönelik derin bir duyarlılıkla sentezlemiş ve kendi modern yöntemlerinin, geçmişin başyapıtları yanında bir taklit olarak değil, İtalyan inşaat geleneğinden gelen bir usta yapıcının özgün ifade biçimi olarak durabileceğini kanıtlamıştır.

İtalya'da yaşanan "ekonomik mucize" ile birlikte hızla artan işçilik maliyetleri, ferroçimentodan inşaat elemanlarının hazırlanması gibi emek yoğun bir yöntemin maliyet avantajını zamanla ortadan kaldırmıştır. Öte yandan, gelişen mimarlık ve mühendislik mesleklerinin giderek artan uzmanlaşmalar gerektirmesi, Nervi'nin

yaşamı boyunca kapatmaya çalıştığı bir uçurumu daha da derinleştirmiştir (Iori & Poretti, 2013b, s. 126). Büyük ölçekli kurumsal ofislerin yükselişiyle birlikte tek bir kişinin bir projenin her yönünü kontrol ettiği geleneksel yöntem geride kalırken, küresel pazarda daha rekabetçi hale gelen çelik konstrüksiyondaki yeni gelişmeler, özellikle de hızla monte edilebilmesinin ülkedeki yüksek enflasyona karşı bir koruma sağlaması, inşaat sektöründe köklü bir dönüşümü beraberinde getirmiştir. Dahası, bilgisayarların sunduğu yeni strüktürel hesaplama olanakları ve bizzat Nervi'nin de Meryem Ana Katedrali projesindeki kullanımını büyük bir ilgiyle karşıladığı sayısal modelleme tekniklerinin ortaya çıkışı, tasarım sürecinin merkezinde yer alan statik sezgiye ve ölçekli fiziksel modellere olan bağımlılığın yerini almaya başlamıştır (Chiorino & Leslie, 2018, s. 31).

Değişen kültürel iklim ile birlikte düşünceleri de eleştirilmeye başlanan Nervi'nin eserlerinde en somut biçimde ifade bulan ve esasen savaş sonrası yılların bir karakteristiği olarak teknoloji ve mühendisliğe duyulan sınırsız inanç, 1960'ların sonlarına gelindiğinde Venturi'nin ironik çalışmaları ve Archigram'ın radikal teknolojik vizyonlarıyla karşılaştırılmış, kibirli ve basit bulunmuştur. Eserlerinin temelini oluşturan felsefeyi "genel kuramsal bakışındaki tarihsel eksiklikler nedeniyle" eleştirmesine rağmen, inşa edilmiş eserlerini her türlü yapmacıklıktan uzak olmalarıyla öven Nikolaus Pevsner'in onu "çağımızın betonarme alanındaki en parlak sanatçısı" olarak tanımlaması, Nervi'nin sıradan bir malzemeyi yüce bir mimari ifade aracına dönüştürme konusundaki eşsiz yeteneğinin bir kanıtı olmuştur (Chiorino & Leslie, 2018, ss. 28-29). Bu noktada, inşa etme sanatının "kor gibi bir ilham ile buz gibi bir bilimsel mantığın" sentezi olduğuna inanan ve bunu eserleriyle kanıtlayan Pier Luigi Nervi, günümüzde de strüktürel sanatın dünya çapında tartışmasız ve vazgeçilmez bir referans noktası olarak durmaya devam etmektedir (Abram, 2018, s. 242).

4
KATALOG: ÖRNEK NERVI YAPILARI

Bu bölümde, Nervi'nin etkileyici kariyerinden seçilmiş 15 projenin sistematik bir incelemesi yapılarak, mesleki pratiğindeki tasarım evreleri estetik, mühendislik ve uygulama açılarından incelenmiştir.

1925 ile 1971 yılları arasını kapsayan bu seçki, Nervi'nin tüm külliyatını içeren kapsamlı bir döküm olmaktan ziyade, metodolojisinin gelişimini ortaya koyan temsili bir kesit sunmayı amaçlamaktadır. Stadyumlardan sergi salonlarına, endüstriyel tesislerden dini yapılara kadar uzanan geniş bir tipoloji yelpazesini kapsayan bu katalog, Nervi'nin kariyerindeki en önemli evrelerin ve onun imzası haline gelmiş "strüktürel prefabrikasyon" ile "ferroçimento" gibi teknolojik yeniliklerin izini sürmek amacıyla oluşturulmuştur. Önceki bölümde verilen ve Nervi'nin tasarladığı yahut tasarımına katkıda bulunduğu bilinen toplam 29 yapının listelendiği Tablo 3.1 içerisinden bu 15 projenin seçilmesinin bir nedeni de bu yapıların mevcut uluslararası literatürde çalışılmış olmasıdır; kalan projeler için katalog kaydı oluşturmaya yetecek bilgi bulunmamaktadır.

Nervi'nin zamanla gelişen metodolojisini karşılaştırmalı olarak ve net bir biçimde ortaya koymak amacıyla tutarlı bir çerçeve oluşturulmaya çalışılmış ve her proje, işlevsel gereksinimler, seçilen strüktürel sistem, özgün malzeme uygulamaları ve kullanılan inşaat teknikleri arasındaki içsel ilişkiyle incelenmiştir. Böylece, yapılardaki nihai estetik ifadenin matematiksel optimizasyon, malzeme özellikleri, teknolojik olanaklar ve ekonomik zorunluluklarla bir arada biçimlendiği ve Nervi'nin tasarımlarındaki sanatsal katmanın esasen bu bütünleşik sürecin doğrudan bir sonucu olduğu vurgulanmaya çalışılmıştır.

Nervi'nin ilk tasarımları katalog kapsamında "erken dönem" olarak adlandırılmıştır. 1929 yılına kadar olan bu dönemi örneklemek üzere, Augusteo

Sineması kataloğa alınmıştır (Katalog No: 1). Bu dönem, Nervi'nin henüz strüktürü bir mimari ifade olarak kullanmadığı, cesur tasarımlarını geleneksel betonarme karkas ile uyguladığı bir dönemdir.

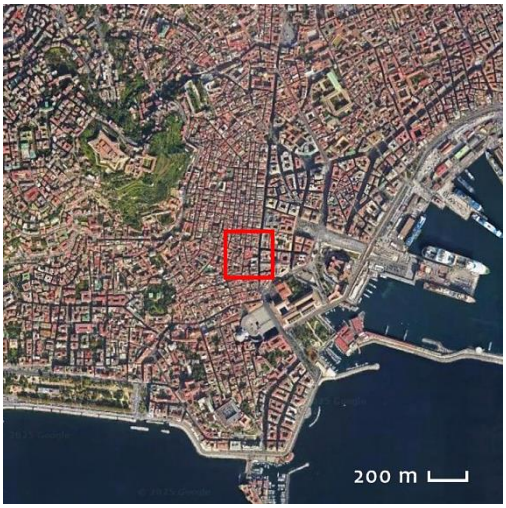
Ardından gelen "geçiş dönemi", strüktürün ifade potansiyeli üzerinde yoğunlaşan Nervi'nin aynı zamanda ekonomik gereksinimler doğrultusunda strüktürel prefabrikasyonu geliştirdiği bir süreçtir. 1940'lı yılların ilk yarısına kadar devam eden bu dönemin katalogdaki örnekleri Giovanni Berta Stadyumu (Katalog No: 2) ve Orvieto hangarlarıdır (Katalog No: 3).

"Konsolidasyon dönemi", strüktürel ifadenin aynı zamanda bezemeyi de belirlediği, Nervi'nin hızlı ve ekonomik uygulamalar için kalıcı ferroçimento kalıplar kullanmaya başladığı bir dönemdir. 1950'li yılların ortalarına kadar devam eden bu dönemi katalogda Torino Sergi Sarayı (Katalog No: 4), Gatti Yün Fabrikası (Katalog No: 5) ve UNESCO Genel Merkezi (Katalog No: 6) temsil etmektedir.

İçkin bir strüktür estetiği ortaya koymasının yanısıra, zaman ve bütçe kısıtlarına karşı da son derece etkili bir yöntem olan "Nervi Sistemi"nin tam ve oturmuş bir uygulama olarak öne çıktığı "olgunluk dönemi" 1960'ların başına kadar sürmüş, bu dönemde Küçük Spor Sarayı (Katalog No: 7), Pirelli Kulesi (Katalog No: 8), Flaminio Stadyumu (Katalog No: 9), Büyük Spor Sarayı (Katalog No: 10) ve Emek Sarayı (Katalog No: 11) gibi prestijli yapılar Nervi'nin ününü artırmıştır.

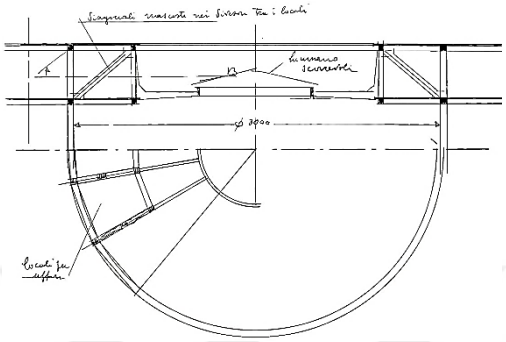
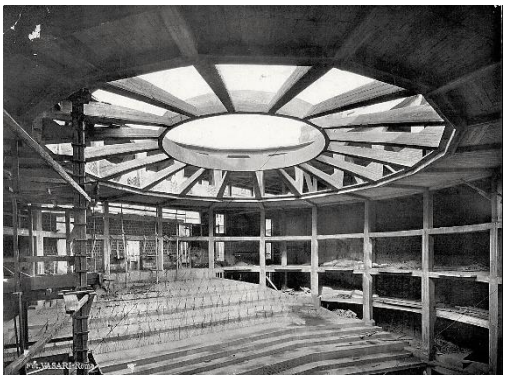
Özellikle 1960 Olimpiyat Oyunları'nın ardından gelen yurtdışı projelerle birlikte "Nervi Üslubu"na dönüşen mimari dili ve dünya çapında prestijli projelerin aranan tasarımcısı haline gelmesiyle, Nervi için "uluslararası dönem" başlamıştır. Katalogda Washington Köprüsü Otobüs Terminali (Katalog No: 12), Burgo Kağıt Fabrikası (Katalog No: 13), Papalık Dinleyici Salonu (Katalog No: 14) ve Meryem Ana Katedrali (Katalog No: 15) ile yer bulan bu dönem, Nervi'nin ölümüne dek sürmüştür.

Tablo 4.1 Augusteo Sineması

<table>
<tr><td>Augusteo Sineması
Cinema Teatro Augusteo</td><td>Katalog No: 1A</td></tr>
<tr><td>Bulunduğu Ülke: İtalya</td><td>Kent: Napoli</td></tr>
<tr><td>Yapım Yılı: 1925-1929</td><td>Yapı Türü: Sinema Salonu</td></tr>
<tr><td>Dönemi: Erken</td><td rowspan="2">
Şekil 4.2 Yapının genel görünüşü (Neri, 2024, s. 73)</td></tr>
<tr><td>
Şekil 4.1 Kentin ülke haritasındaki konumu (Wikipedia, 2025a)</td></tr>
<tr><td>

Şekil 4.3 Yapının hava fotoğrafı (Google Maps, 2025a)</td><td>Nervi’nin rasyonel ve estetik betonarme arayışında önemli bir adım olan yapının altında bir füniküler istasyonu bulunmaktadır. Kentin yoğun ve karmaşık bir bölgesinde yer alması nedeniyle inşasında birtakım lojistik ve strüktürel zorluklar da barındıran yapıda Arnaldo Foschini’ye ait tasarımın genel çizgileri takip edilmiş ve yaklaşık 30 metre çapında, dairesel bir oditoryum yaratılmıştır (Gargiani & Bologna, 2016, s. 21).</td></tr>
</table>

Tablo 4.1 Augusteo Sineması (devamı)

Augusteo Sineması *Cinema Teatro Augusteo*	**Katalog No:** 1B
 **Şekil 4.4** Nervi'nin çatı eskizi (Rogers & Joedicke, 1957, s. 2)	Nervi'nin projeye en belirgin katkısı, yenilikçi betonarme strüktür tasarımı olmuştur (Şekil 4.4). Kısmen yığma duvarlardan oluşan bir yapı kompleksi içinde Nervi, ana salonu tanımlarken aynı zamanda ofis ve servis mekanlarını da barındıran, mafsallı ve yüksek derecede hiperstatik bir betonarme sistem geliştirmiştir. Bu karmaşık iskelet, zeminden yukarıya doğru inşa edilen bir dizi yapısal düzenden oluşmaktadır (Neri, 2024, s. 73).
 **Şekil 4.5** İnşaat sürecinde oditoryum strüktürü (Iori & Poretti, 2022, s. 104)	Oditoryumu çevreleyen 17 büyük kolondan çevre duvarlara doğru yayılan kirişlerle yukarıdaki çapraz kirişlerin oluşturduğu kafes sistemi, çok açıklıklı ve çokyüzlü bir yapı oluşturmuştur (Şekil 4.5). Bu kafesin tabanında yer alan 18 konsol kiriş, oditoryumun merkezi açıklığının halka şeklindeki kirişiyle birleşmek üzere ortaya doğru uzanmıştır. Üst katta, açılabilir bir cam tavanla örtülü, yaklaşık 20 metre çapında dairesel bir açıklığın etrafına yerleştirilmiş ofisler bulunmaktadır (Rogers & Joedicke, 1957, s. 3).

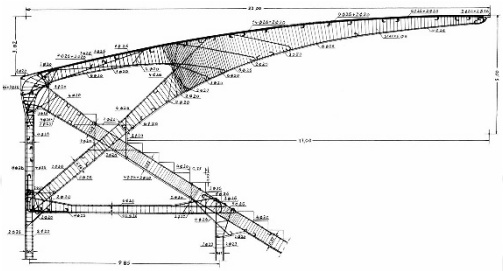
Tablo 4.1 Augusteo Sineması (devamı)

Augusteo Sineması *Cinema Teatro Augusteo*	**Katalog No:** 1C
 **Şekil 4.6** Betonarme kiriş katmanları (Gargiani & Bologna, 2016, s. 24)	Çatı strüktürü, Nervi'nin yaratıcılığını sergileyen özellikle dikkate değer bir unsurdur. Çatının taşıyıcılığı, aynı zamanda ofisler arasındaki bölücü duvarların bir parçasını oluşturan çapraz çatı makas sistemiyle sağlanmıştır (Şekil 4.6). Bu sistemin kilit öğesi, gerilme altında olan ve oditoryum tavanını oluşturan alt döşeme ile basınç altında olan ve ofis tavanını oluşturan üst döşemenin oluşturduğu ikili yapıdır (Neri, 2024, s. 73).
 **Şekil 4.7** Tamamlanan salonun genel görünümü (Neri, 2024, s. 74)	Bir bütün olarak yapının strüktür tasarımı, betonarmenin çok yönlülüğü sayesinde istenilen şekillere sokulabilen kafes kirişlerde ifadesini bulan, kuvvet akışlarına yönelik derin bir anlayışı ortaya koymaktadır. Yüzeyi mimari ve dekoratif unsurlarla (Şekil 4.7) kaplanmadan önce fotoğraflarını çektirmiş olması da, Nervi'nin daha o yıllarda strüktürün sahip olduğu ifade potansiyelinin farkında olduğunu düşündürmektedir (Gargiani & Bologna, 2016, s. 23).

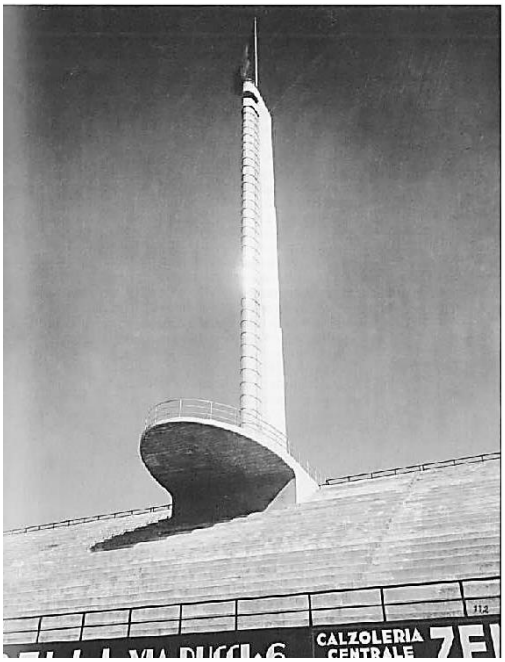
Tablo 4.2 Giovanni Berta Stadyumu

<table>
<tr><td>Giovanni Berta Stadyumu
Stadio Comunale Giovanni Berta</td><td>Katalog No: 2A</td></tr>
<tr><td>Bulunduğu Ülke: İtalya</td><td>Kent: Floransa</td></tr>
<tr><td>Yapım Yılı: 1929-1932</td><td>Yapı Türü: Stadyum</td></tr>
<tr><td>Dönemi: Geçiş</td><td rowspan="2">
Şekil 4.9 Yapının genel görünüşü (Iori, 2009, s. 35)</td></tr>
<tr><td>
Şekil 4.8 Kentin ülke haritasındaki konumu (Wikipedia, 2025b)</td></tr>
<tr><td>
Şekil 4.10 Yapının hava fotoğrafı (Google Maps, 2025b)</td><td>İtalya’nın ilk stadyumlarından biri ve modern stadyum tasarımında öncü bir çalışma olan yapı, Nervi’nin teknik ile estetiği bütünleştirme becerisini ortaya koyduğu ilk büyük ölçekli projedir (Nervi, 1965, s. 23). Tamamlandığında aldığı olumlu eleştiriler sayesinde, Nervi’nin İtalya dışında da tanınmasını sağlayan çalışma olmuştur (Iori, 2009, s. 34).</td></tr>
</table>

Tablo 4.2 Giovanni Berta Stadyumu (devamı)

Giovanni Berta Stadyumu *Stadio Comunale Giovanni Berta*	**Katalog No:** 2B
 **Şekil 4.11** Tribün çatısının uygulama çizimi (Iori, 2009, s. 36)	Tasarım sürecinde stadyumun taşıyıcı eleman eğrilerini ve bunlara ait bağlantıları büyük bir özenle şekillendiren Nervi, ekonomik ve teknik kısıtlamaların estetik değer yaratan unsurlara dönüşebileceğini farketmiş, statik gerekliliklerin sahip olduğu mimari ifade potansiyelini çizimlerine aktarmıştır (Şekil 4.11). Bu deneyim, Nervi'nin sonraki tüm kariyerini şekillendiren metodolojik yaklaşımının temelini oluşturmuş ve mimarlık ile mühendisliğin sentezine yönelik özgün bakış açısının ilk adımı olmuştur (Nervi, 1965, s. 24).
 **Şekil 4.12** İnşaat sürecinde tribün strüktürü (Nervi, 1965, s. 39)	Yapının görsel kimliğinin belirleyici unsurlarından biri olarak betonarmenin sahip olduğu figüratif potansiyelin bir sembolü haline gelen çatı strüktürü (Şekil 4.12), 22.6 metrelik konsol uzunluğunu yarıya indirmek üzere yapının profiline ustalıkla entegre edilmiş çapraz payandalar ve tribün kütlesinin karşı ağırlığı sayesinde dengede tutulmuştur (Iori, 2009, s. 34).

Tablo 4.2 Giovanni Berta Stadyumu (devamı)

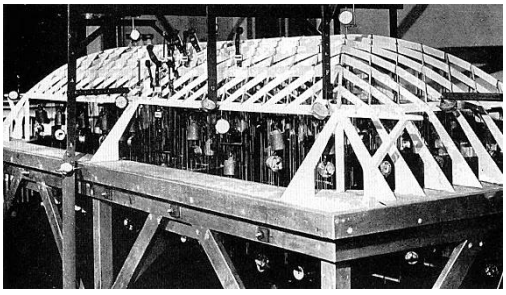
Giovanni Berta Stadyumu *Stadio Comunale Giovanni Berta*	**Katalog No:** 2C
 **Şekil 4.13** Spiral Merdiven (Bologna, 2013, s. 14)	Müşteri tarafından projeye sonradan eklenen spiral merdivenlerin statik olarak hesaplanmasının neredeyse imkansız olduğunu ifade eden Nervi'nin sıradışı tasarımıyla spiral formundaki bir kirişten çıkan merdiven konsolu, yarı yolda simetrik bir kiriş ile kesişmektedir (Şekil 4.13). Bu durum, genel tasarıma klasik anlamda estetik bir denge kazandırmakla kalmayıp, aynı zamanda merdiven konsolu tarafından ana kirişte oluşturulan burulma etkisini azaltarak son derece önemli bir statik rol de oynamaktadır (Iori, 2009, s. 35).
 **Şekil 4.14** Maraton Kulesi (Gargiani & Bologna, 2016, s. 61)	Kapalı tribünlerin tam karşısında yer alan ve "Maraton Kulesi" olarak bilinen 70 metre yüksekliğindeki cam kaplı kule, tribünün yatay kütlesine karşı belirgin bir dikeylik sunarken, işlevsel olduğu kadar sembolik bir rol de üstlenmektedir (Şekil 4.14). Stadyum çevresine inşa edilmiş olan toplam beş adet spiral merdivenden biri kulenin zemininden kıvrılarak yükselmekte ve merdivenin iki yanındaki kirişlerden konsol çıkarak betonarmenin olanaklarını bir kez daha gözler önüne seren bir platformda son bulmaktadır (Neri, 2024, s. 79).

Tablo 4.3 Orvieto Hangarları

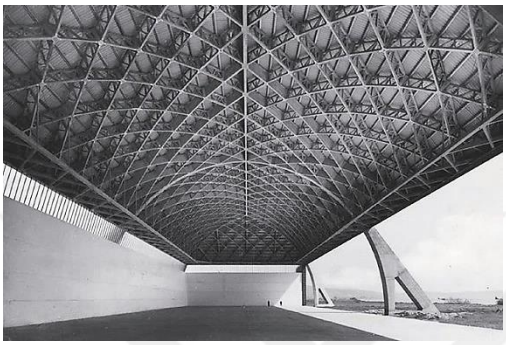
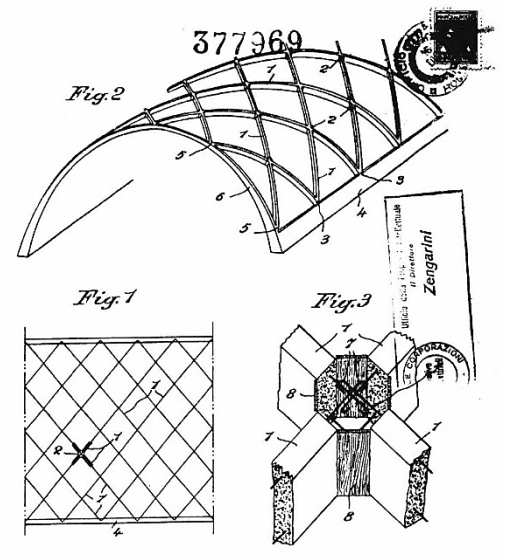
<table>
<tr><td>Orvieto Hangarları
Aviorimesse di Orvieto</td><td>Katalog No: 3A</td></tr>
<tr><td>Bulunduğu Ülke: İtalya</td><td>Kent: Orvieto</td></tr>
<tr><td>Yapım Yılı: 1935-1942</td><td>Yapı Türü: Uçak Hangarı</td></tr>
<tr><td>Dönemi: Geçiş</td><td rowspan="2">
Şekil 4.16 Yapının genel görünüşü (Nervi, 2018, s. 172)</td></tr>
<tr><td>
Şekil 4.15 Kentin ülke haritasındaki konumu (Wikipedia, 2025c)</td></tr>
<tr><td>

Şekil 4.17 Konumun hava fotoğrafı (Google Maps, 2025c)</td><td>İtalyan Hava Kuvvetleri için sipariş edilen yapı için Nervi, geleneksel kiriş ve kafes sistemleri yerine, yapının kendi ağırlığından ve rüzgar, kar gibi dış kuvvetlerden kaynaklanan gerilimlerin doğal olarak mesnetlere yayılacağı, tonoz formunda birleşik bir strüktürel sistem tasarlamıştır. Bu yenilikçi yaklaşım ile Nervi, ekonomik ve verimli bulmadığı konvansiyonel inşaat yöntemlerini terk ederek, bütünleşik bir taşıyıcı organizma yaratmayı amaçlamıştır (Nervi, 1965, s. 26).</td></tr>
</table>

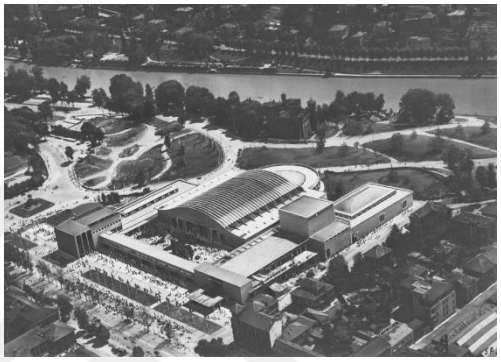
Tablo 4.3 Orvieto Hangarları (devamı)

Orvieto Hangarları *Aviorimesse di Orvieto*	**Katalog No:** 3B
 **Şekil 4.18** Birinci seri yapının içeriden görünüşü (Neri, 2024, s. 165)	1935-1938 yılları arasında inşa edilen birinci seri hangarların strüktürel sistemi, kapı açıklıkları tarafında büyük birer yatay kirişle tamamlanan, geodezik veya çift sıra kaburga ile karakterize edilmiş tonozlu bir yapıdan oluşmaktadır (Şekil 4.18). Bir metre yüksekliğe ve 12 ila 20 santimetre arasında değişen bir genişliğe sahip olan bu kaburgalar, yaklaşık 4.5 metre aralıkla dizilmiştir. Yatay kiriş, yapının dış kenarındaki yüklerin yatay bileşenlerini absorbe etmektedir (Nervi, 1965, s. 26).
 **Şekil 4.19** Laboratuar testleri için üretilen ölçekli model (Iori, 2009, s. 38)	Kesin analitik hesaplamaların mümkün olmaması nedeniyle Nervi, Milano Politeknik Üniversitesi'nden Profesör Arturo Danusso ile çalışarak, ölçekli modeller üzerinde mekanik gerilim testleri yapmıştır (Şekil 4.19). Böyle büyük ölçekli projeler için yeni olan bu deneysel yaklaşım, tasarımın doğrulanmasına ve iyileştirilmesine olanak tanıyarak strüktürel bütünlüğünü sağlamış ve model analizinin ilk hesaplamalardan daha düşük gerilmeler göstermesiyle önemli ölçüde çelik tasarrufuna yol açmıştır (Nervi, 1965, ss. 26-27).

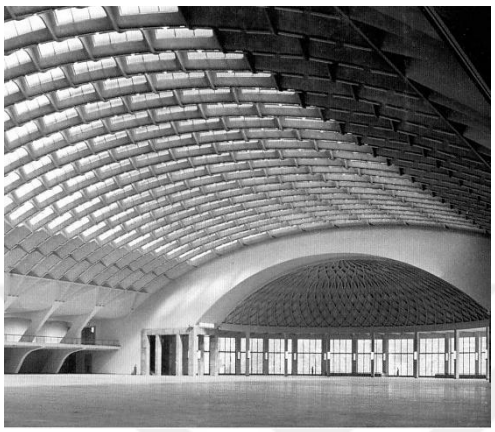
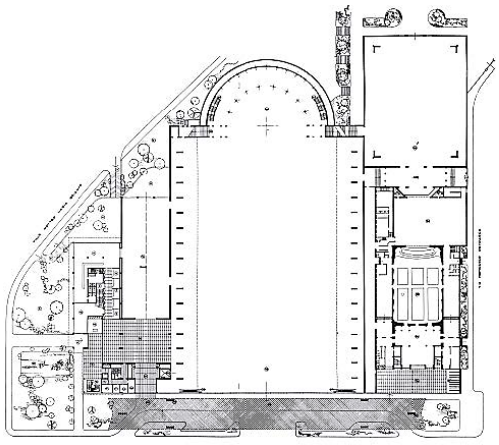
Tablo 4.3 Orvieto Hangarları (devamı)

Orvieto Hangarları *Aviorimesse di Orvieto*	**Katalog No:** 3C
 **Şekil 4.20** İkinci seri yapının içeriden görünüşü (Nervi, 2018, s. 170)	1939 yılında artırılmış kapı yüksekliğine sahip 6 yeni hangar için açılan bir sonraki yarışmada Nervi, deneyimlerinden yararlanarak önceki tasarımını geliştirmiştir. Gerilmeleri eşitlemek için mesnetleri simetrik hale getiren Nervi, tüm strüktürü daha küçük, hafif prefabrik elemanlara bölmüştür (Şekil 4.20). Bu elemanlar yerde dökülmüş, daha sonra iskele üzerine yerleştirilmiş ve çıkıntılı donatı çeliklerinin kaynaklanması ve derzlere beton dökülmesiyle statik olarak monolitik bir süreklilik sağlanmıştır (Neri, 2024, s. 164).
 **Şekil 4.21** Nervi'nin "strüktürel prefabrikasyon" patenti (Iori, 2009, s. 23)	Yöntemin başarısı üzerine Nervi, "strüktürel prefabrikasyon" adını verdiği bu inşaat tekniğini 1939 yılında patent ile tescil ettirmiştir (Şekil 4.21). Zaman ve malzeme tasarrufu sağlayan bu yöntem, aynı zamanda inşaat kalitesini de artırmıştır. İkinci Dünya Savaşı sırasında bombalanan hangarlarda prefabrike elemanları birleştiren derzlerin sağlam kalmış olması, Nervi'nin strüktürel prefabrikasyon yönteminin sağlamlığını son derece çarpıcı bir biçimde ortaya koymuştur (Salvadori, 1980, s. 103).

Tablo 4.4 Torino Sergi Sarayı Agnelli Salonu

<table>
<tr><td>Torino Sergi Sarayı Agnelli Salonu
Torino Esposizioni Salone Agnelli</td><td>Katalog No: 4A</td></tr>
<tr><td>Bulunduğu Ülke: İtalya</td><td>Kent: Torino</td></tr>
<tr><td>Yapım Yılı: 1947-1948</td><td>Yapı Türü: Fuar Binası</td></tr>
<tr><td>Dönemi: Konsolidasyon</td><td rowspan="2">
Şekil 4.23 Yapının genel görünüşü (Wikipedia, 2025)</td></tr>
<tr><td>
Şekil 4.22 Kentin ülke haritasındaki konumu (Wikipedia, 2025d)</td></tr>
<tr><td>
Şekil 4.24 Yapının hava fotoğrafı (Google Maps, 2025d)</td><td>Savaş sonrası dönemin ilk büyük otomobil fuarı için sipariş edilen ve 1947 sonbaharı ile 1948 ilkbaharı arasındaki 7 ayda tamamlanan yapı, hizmete açılırken “İtalya'da şimdiye kadar inşa edilen en güzel bina” olarak tanıtılmış, eleştirmenler ve uluslararası basın tarafından büyük bir ilgi ve beğeniyle karşılanmıştır (Thomas, 2018, ss. 79-80).</td></tr>
</table>

Tablo 4.4 Torino Sergi Sarayı Agnelli Salonu (devamı)

Torino Sergi Sarayı Agnelli Salonu *Torino Esposizioni Salone Agnelli*	**Katalog No:** 4B
 **Şekil 4.25** Tamamlanan yapının içeriden görünümü (Iori, 2009, s. 43)	Yapı, Nervi'nin yıllar içerisinde kompozit bir malzeme olarak geliştirdiği ferroçimento ile özgün bir inşaat yöntemi olarak geliştirdiği strüktürel prefabrikasyonu bir araya getiren "Nervi Sistemi"nin ilk büyük ölçekli uygulamasıdır (Şekil 4.25). Ferroçimento malzemenin hafiflik ve esnekliği Nervi'nin strüktürel formdaki zarif deneylerine olanak sağlarken, prefabrikasyon teknikleri sayesinde inşaat süreci önemli ölçüde hızlanmış ve ekonomik hale gelmiştir (Neri, 2018, s. 43).
 **Şekil 4.26** Salonun vaziyet planı (Nervi, 2018, s. 176)	Salon, çağdaş bir bazilika şeklinde tasarlanmıştır (Şekil 4.26): her iki yanında koridorlar bulunan, tamamen üstten aydınlanan tonozlu bir ana nef, sonunda kaburgalı bir yarım kubbe ile örtülü yarım daire şeklinde bir apsisle sonlanmaktadır. Özellikle çarpıcı olan tonoz, yan yana dizilmiş, ortalama üç santimetre kalınlığında ferroçimento dalgalarından oluşmaktadır. Bu dalgalar diyaframlarla çapraz bağlanmış ve ışığın süzülmesine olanak tanımak için yanlardan boşaltılmıştır (Iori, 2009, s. 42).

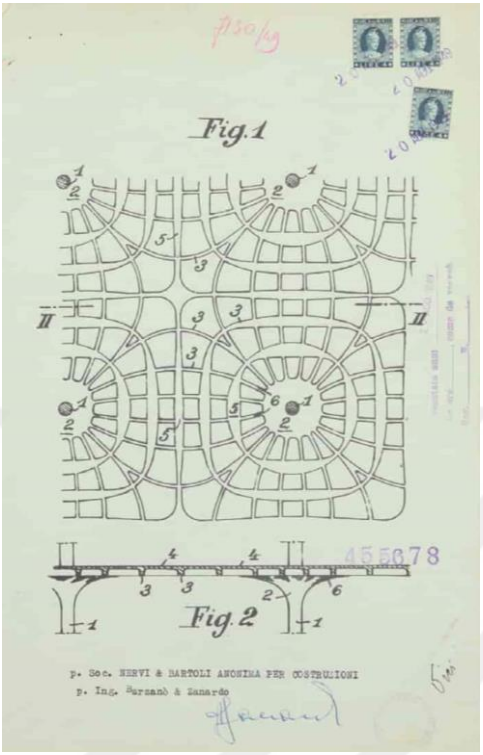
Tablo 4.4 Torino Sergi Sarayı Agnelli Salonu (devamı)

Torino Sergi Sarayı Agnelli Salonu *Torino Esposizioni Salone Agnelli*	**Katalog No:** 4C
 **Şekil 4.27** Tonoz dalgalarını oluşturan ferroçimento bloklar (Nervi, 2018, s. 180)	Maksimum statik verimlilik ve minimum malzeme kullanımı sağlayan tonoz dalgaları, 4 metre uzunluk ve 2,5 metre genişliğindeki bloklar halinde prefabrike edilmiştir (Şekil 4.27). Sertleştikten sonra bloklar yerine kaldırılmış, iskele üzerinde monte edilmiş, üst ve alt kaburgalara yerinde döküm yapılarak tüm strüktür monolitik hale getirilmiştir. Bu şekilde, yaklaşık 100 metreye 80 metrelik bir çatı, minimum maliyetle ve rekor sürede monte edilmiştir (Nervi, 1965, ss. 100-101).
 **Şekil 4.28** İnşaat sürecinde apsisin kubbesi (Nervi, 2018, s. 183)	Nervi, 40 metre çapındaki apsisin kubbesini, savaş sonrası dönemde geliştirip patentini almış olduğu eşkenar dörtgen şeklindeki içi boş prefabrike blokların birleştirilmesiyle oluşturmuştur (Şekil 4.28). Üretim için bir kalıp çifti gerektirmeyen bu 19 milimetre kalınlığında ve 2x4 metre boyutlarındaki blokların kenarları özel olarak biçimlendirilmiştir. Yerlerine yerleştirildiklerinde aralarında oluşan 10 santimetrelik kanallara beton dökülerek, strüktürel sistemi tamamlayan destekleyici kaburgalar oluşturulmuştur (Thomas, 2018, s. 80).

Tablo 4.5 Gatti Yün Fabrikası

<table>
<tr><td>Gatti Yün Fabrikası
Lanificio Gatti</td><td>Katalog No: 5A</td></tr>
<tr><td>Bulunduğu Ülke: İtalya</td><td>Kent: Roma</td></tr>
<tr><td>Yapım Yılı: 1951-1953</td><td>Yapı Türü: Fabrika Binası</td></tr>
<tr><td>Dönemi: Konsolidasyon</td><td rowspan="2">
Şekil 4.30 Bodrum katının genel görünümü (Bologna, 2013, s. 57)</td></tr>
<tr><td>
Şekil 4.29 Kentin ülke haritasındaki konumu (Wikipedia, 2025e)</td></tr>
<tr><td>
Şekil 4.31 Yapının hava fotoğrafı (Google Maps, 2025e)</td><td>Mühendis Carlo Cestelli Guidi ile birlikte tasarladığı yapı, Nervi’nin yenilikçi strüktürel sistemlerinin önemli bir erken dönem uygulaması olarak öne çıkmaktadır. Özellikle bodrum katındaki depo bölümünde yer alan özgün tavan strüktürü nedeniyle eleştirmenler tarafından savaş sonrası dönemde Avrupa’nın en önemli mimari başarılarından biri olarak kabul görmüş ve uluslararası alanda tanınmıştır (Neri, 2024, s. 152).</td></tr>
</table>

Tablo 4.5 Gatti Yün Fabrikası (devamı)

Gatti Yün Fabrikası *Lanificio Gatti*	**Katalog No:** 5B
 **Şekil 4.32** Nervi'nin izostatik kaburgalı döşeme patenti (Neri, 2024, s. 149)	Yapı, Nervi'nin 1949 yılında patentini aldığı "izostatik kaburgalı döşeme" sistemi için önemli bir uygulama alanı olmuştur (Şekil 4.32). Bu sistem, betonarme kaburgaların standart bir ızgara formu yerine, döşeme içindeki izostatik hatlar olarak bilinen doğal gerilim yolları boyunca düzenlenmesini içermektedir. Nervi, strüktürel malzemeyi eğilme kuvvetlerine direnmek için en çok ihtiyaç duyulan noktalarda yoğunlaştırarak, statik prensiplere mükemmel biçimde uyan bir tasarım elde etmiştir (Iori, 2009, s. 46).
 **Şekil 4.33** İnşaat sürecinde kaburga kalıpları (Iori, 2009, s. 46)	Yapım aşamasında geleneksel ahşap kalıplar yerine, karmaşık kaburga desenine uyacak biçimde üretilmiş ferroçimento kalıplar hareketli metal iskeleler üzerine monte edilmiştir (Şekil 4.33). Dökülen betonun sertleşmesinin ardından kalıpların kolaylıkla indirilip yeniden konumlandırılmasına olanak tanıyan bu sistem sayesinde inşaat süresini ve maliyetini önemli ölçüde azaltmak mümkün olmuştur (Nervi, 1965, s. 31).

Tablo 4.5 Gatti Yün Fabrikası (devamı)

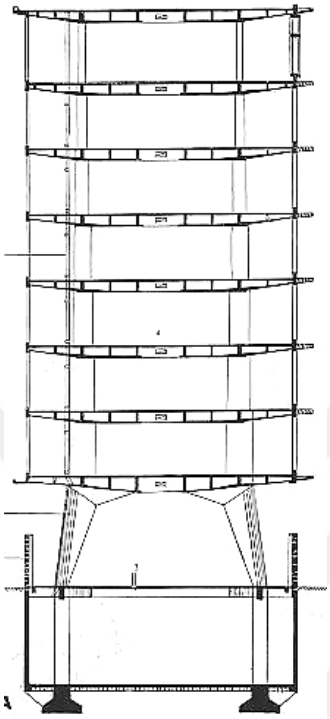
Gatti Yün Fabrikası *Lanificio Gatti*	**Katalog No:** 5C
 **Şekil 4.34** Tavan detayı (Iori, 2009, s. 48)	Strüktürel gereksinimlerin estetik bir ifadeye dönüştüğü yapıda kolonlardan organik bir akışla yayılan kaburgaların oluşturduğu örüntü dekoratif bir kaygının ürünü olmaktan ziyade, optimize edilmiş strüktürel düzenin doğrudan görsel bir sonucudur (Şekil 4.34). Bu sayede Nervi, strüktürün kendisinin süs haline geldiği, Gotik katedrallerin yelpaze tonozlarını veya incelikli arabesk bezemeleri çağrıştıran özgün bir mimari mekan yaratarak, mühendislik mantığı ile sanatsal formun bütünleşmesini sağlamıştır (Neri, 2024, s. 201).
 **Şekil 4.35** Yapının güncel fotoğrafı (Leslie, 2012)	Yapının dünya çapında yayınlanan görselleri, adeta özgün Nervi estetiğinin ve savaş sonrası İtalyan yenilikçiliğinin ikonik sembolleri haline gelmiştir. Proje, strüktürel dürüstlüğe ve yapı ustalığına dayanan bir yaratıcılığın cazibesini simgelemiş ve uluslararası alanda büyük yankı uyandırmıştır (Neri, 2024, s. 152). Bir dönem kaybolduğu için yıkıldığı sanılan yapı, günümüzde bir otomobil garajı olarak kullanılmaya devam etmektedir (Şekil 4.35).

Tablo 4.6 UNESCO Genel Merkezi

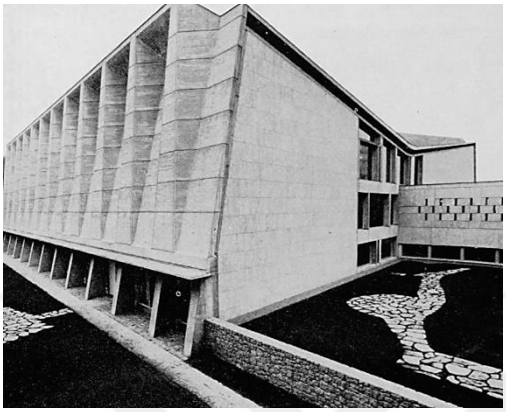
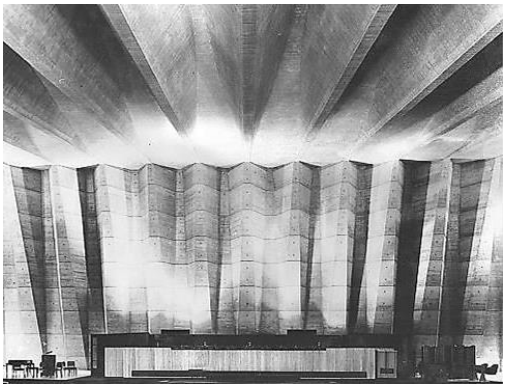
<table>
<tr><td>UNESCO Genel Merkezi
Maison de l'UNESCO</td><td>Katalog No: 6A</td></tr>
<tr><td>Bulunduğu Ülke: Fransa</td><td>Kent: Paris</td></tr>
<tr><td>Yapım Yılı: 1953-1958</td><td>Yapı Türü: Ofis ve Toplantı Binaları</td></tr>
<tr><td>Dönemi: Konsolidasyon</td><td rowspan="2">
Şekil 4.37 Yapıların genel görünüşü (Nervi, 1963, s. 55)</td></tr>
<tr><td>
Şekil 4.36 Kentin ülke haritasındaki konumu (Wikipedia, 2025f)</td></tr>
<tr><td>

Şekil 4.38 Yapının hava fotoğrafı (Google Maps, 2025f)</td><td>Yirminci yüzyıl mimari düşüncesinin ve betonarmenin ifade olanaklarının önemli bir örneği olarak kabul edilen yapı, Walter Gropius ve Le Corbusier gibi dönemin önde gelen isimlerinin yer aldığı seçkin bir komitenin öncülüğünde, Marcel Breuer, Bernard Zehrfuss ve Pier Luigi Nervi tarafından tasarlanmıştır. Projenin en başından itibaren strüktürel dürüstlükten beslenen bir mimari ifade hedeflenmiş ve hem dış, hem de iç mekanlarda brüt beton kullanılmıştır (Nervi, 1965, ss. 28-29).</td></tr>
</table>

Tablo 4.6 UNESCO Genel Merkezi (devamı)

UNESCO Genel Merkezi *Maison de l'UNESCO*	**Katalog No:** 6B
 **Şekil 4.39** Genel Sekreterlik Binası'nın taşıyıcı strüktürü (Nervi, 2018, s. 138)	Büyük ölçüde Nervi'ye atfedilen Genel Sekreterlik Binası'nın tasarımında temel statik konsept, ana açıklıklardaki negatif ve pozitif gerilimlerin, her iki uçta konsol kesitler eklenerek dengelenmesini içermiştir (Şekil 4.39). Bu yaklaşım, düşey taşıyıcı eleman sayısını önemli ölçüde azaltarak, farklı kullanımlar için iç mekan yerleşiminde azami esneklik sağlamıştır. Bu konsollu tasarım sayesinde döşeme sisteminin derinliği de azalmış ve Paris'in katı bina yükseklik kısıtlamaları dahilinde yapıya ilave bir katın eklenmesi mümkün olmuştur (Nervi, 1965, s. 29).
 **Şekil 4.40** Değişken kesitli kolonlar (Leslie, 2017, s. 97)	Genel Sekreterlik Binası'nın zemin katında yer alan ve eliptik bir tabandan başlayıp, üstte dikdörtgen bir kesite dönüşerek eğimli bir kirişle birleşen yenilikçi kolonlar (Şekil 4.40), zayıf zemin üzerinde esnekliğe izin verip dolaşımı optimize etmenin yanısıra, temellere mafsallı olarak bağlanan ve rüzgar kuvvetleri de dahil olmak üzere, yükleri ustalıkla karşılayan sağlam portal çerçeveler oluşturmuştur (Leslie, 2017, ss. 97-98).

Tablo 4.6 UNESCO Genel Merkezi (devamı)

UNESCO Genel Merkezi *Maison de l'UNESCO*	**Katalog No:** 6C
 **Şekil 4.41** Genel Kurul Salonu'nun dışarıdan görünüşü (Huxtable, 1960, s. 86)	Yaklaşık 67 metre uzunluğunda ve 50 metre genişliğindeki trapezoid bir plana sahip olan Genel Kurul Salonu'nun ondüle yapısı, salonun akustiğine de olumlu katkı sağlamıştır (Şekil 4.41). Giriş alanındaki sekiz kolon ve cepheler tarafından desteklenen çatı ondülasyonlarının yüksekliği, eğilme momentlerine göre değişkenlik göstermiştir. Statik gereksinimler nedeniyle ondülasyonların üst kısmından alt kısmına geçiş yapan ilave bir betonarme döşeme entegre edilmiştir (Nervi, 1965, ss. 29-30).
 **Şekil 4.42** Genel Kurul Salonu'nun içeriden görünüşü (Nervi, 2018, s. 141)	Yapının tanımlayıcı bir özelliği, kalıpların sökülmesinden sonra yüzey temizliği dışında büyük ölçüde olduğu gibi bırakılan brüt beton kullanımıdır (Şekil 4.42). Cephelerde büzülme ve çatlama gibi riskleri azaltmak amacıyla duvarların içine özel derzler tasarlanmış ve yüzeylere yakın ilave metal donatılar yerleştirilmiştir. İnşaat süreci, Nervi için ahşap kalıp kullanımı da dahil olmak üzere, beton hazırlama, döküm ve bitirmeye yönelik çeşitli tekniklerin denendiği bir laboratuvar işlevi görmüştür (Neri, 2024, s. 323).

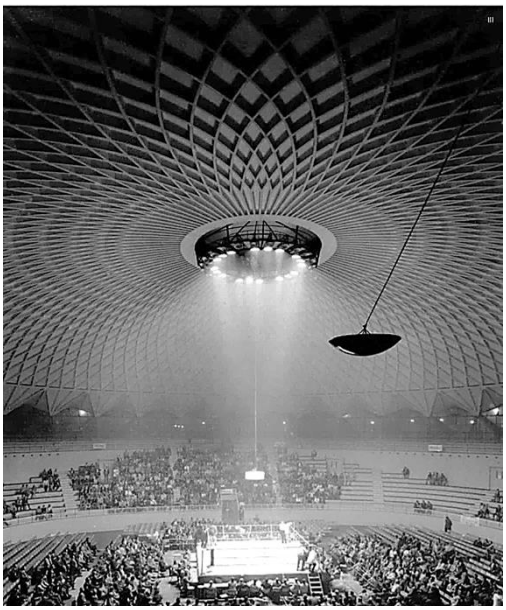
Tablo 4.7 Küçük Spor Sarayı

<table>
<tr><td>Küçük Spor Sarayı
Palazzetto dello Sport</td><td>Katalog No: 7A</td></tr>
<tr><td>Bulunduğu Ülke: İtalya</td><td>Kent: Roma</td></tr>
<tr><td>Yapım Yılı: 1956-1957</td><td>Yapı Türü: Spor Salonu</td></tr>
<tr><td>Dönemi: Olgunluk</td><td rowspan="2">
Şekil 4.44 Yapının genel görünüşü (Bologna, 2013, ss. 66-67)</td></tr>
<tr><td>
Şekil 4.43 Kentin ülke haritasındaki konumu (Wikipedia, 2025g)</td></tr>
<tr><td>
Şekil 4.45 Yapının hava fotoğrafı (Google Maps, 2025g)</td><td>Nervi’nin mimar Annibale Vitellozzi ile birlikte 1960 Roma Olimpiyatları için tasarladığı 5.000 seyirci kapasiteli yapı, II. Dünya Savaşı’nın bitiminden sadece on beş yıl sonra İtalya’nın olimpiyatlara ev sahipliği yapma kabiliyeti konusunda Uluslararası Olimpiyat Komitesi’nin ikna olmasında kilit bir rol oynamış ve Nervi’yi uluslararası bir üne kavuşturmuştur (Chiorino & Leslie, 2018, s. 24).</td></tr>
</table>

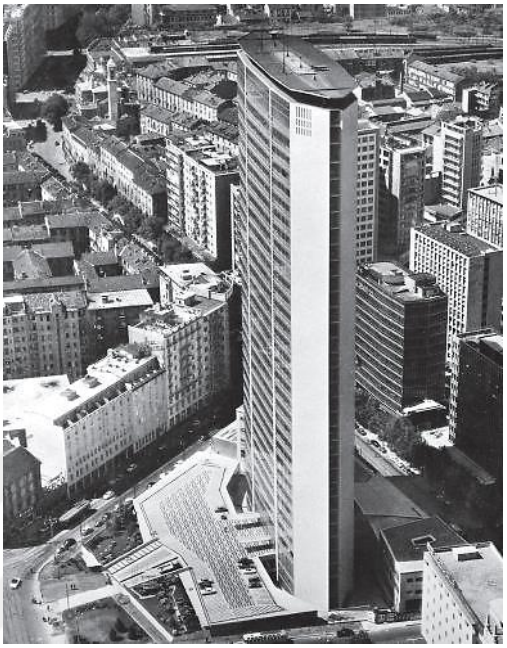
Tablo 4.7 Küçük Spor Sarayı (devamı)

Küçük Spor Sarayı *Palazzetto dello Sport*	**Katalog No:** 7B
 **Şekil 4.46** Tavellonilerin üretiminde kullanılan kalıplar (Iori & Poretti, 2013, s. 279)	Yapının tanımlayıcı özelliklerinden biri, çatının tribünlerden ve altındaki servis birimlerinden tümüyle bağımsız olmasıdır. Altmış metre çapındaki kubbe, 1.620 adet "tavelloni" olarak bilinen eşkenar dörtgen prefabrike ferroçimento elemandan oluşmaktadır (Şekil 4.46). Bu 2,5 santimetre kalınlığında ve 13 farklı tipte hazırlanan elemanlar, 10 derecelik bir kubbe sektörünü temsil eden bir şablon ile şantiyede üretilmiştir (Ciambella, Ranzi, & Romeo, 2024, ss. 2-3).
 **Şekil 4.47** İnşaat sürecinde çatı strüktürü (Bologna, 2013, s. 64)	Tüm kubbeyi oluşturacak şekilde biçimlendirilmiş bir iskele sistemi üzerinde titizlikle konumlandırılan tavellonilerin aralarındaki kanallara ve yüzeylerine beton dökülerek, içeriden görülebilen kenetlenmiş kaburgalar ve 4 santimetre kalınlığında bir kubbe kabuğu oluşturulmuştur (Şekil 4.47). Tavellonilerin tek kullanımlık kalıp işlevi gördüğü bu yöntem sayesinde, kubbe 35 günden daha kısa bir sürede tamamlanmıştır. Ulaşılan yüzey kalitesi sıva ihtiyacı ortadan kaldırmış, görünür yüzeylere yalnızca badana yapılmıştır (Nervi, 1965, ss. 138-139).

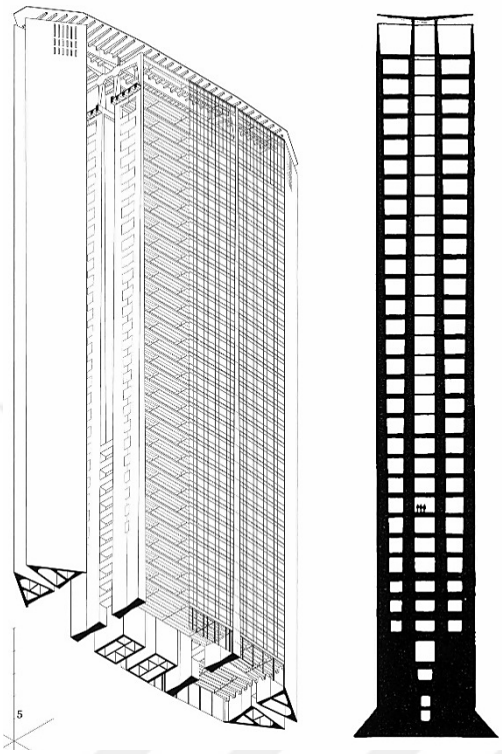
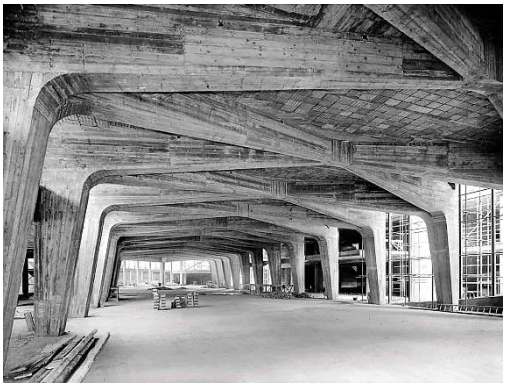
Tablo 4.7 Küçük Spor Sarayı (devamı)

Küçük Spor Sarayı *Palazzetto dello Sport*	**Katalog No:** 7C
 **Şekil 4.48** Kubbeyi saran payandalar (Thomas, 2018, s. 114)	Kubbe, dairesel olarak düzenlenmiş 36 adet Y biçimli payanda üzerine oturmaktadır. Antropomorfik figürlere benzetilen bu destekler, kubbenin alt kenarındaki teğet çizgisine göre eğimlendirilmiş ve yaklaşık 80 metre çapında bir daire oluşturmuştur (Şekil 4.48). Kubbenin ürettiği ve bu payandalar aracılığıyla iletilen itki kuvvetleri, zeminde 6 payandanın tabanına ankre edilmiş kablolar içeren bir öngerilmeli betonarme temel halkası tarafından karşılanmaktadır (Iori & Poretti, 2013, ss. 278-279).
 **Şekil 4.49** Yapının içeriden görünüşü (Neri, 2024, s. 273)	Özgün tasarımı, yenilikçi inşaat teknikleri ve benzersiz beton kullanımı ile modern mimari ve mühendisliğin bir simgesi olarak dünya çapındaki mimarlık dergilerinde övülen Palazetto hem içeriden, hem de dışarıdan çarpıcı bir görselliğe sahiptir (Şekil 4.49). Strüktürel prefabrikasyon ve ferroçimentonun temel operasyonel araçlar olduğu "Nervi Sistemi"nin dikkat çekici bir örneği olan yapı, 2021 yılında İtalya'nin kültürel mirası olarak tescil edilmiştir (Ciambella, Ranzi, & Romeo, 2024, s. 3).

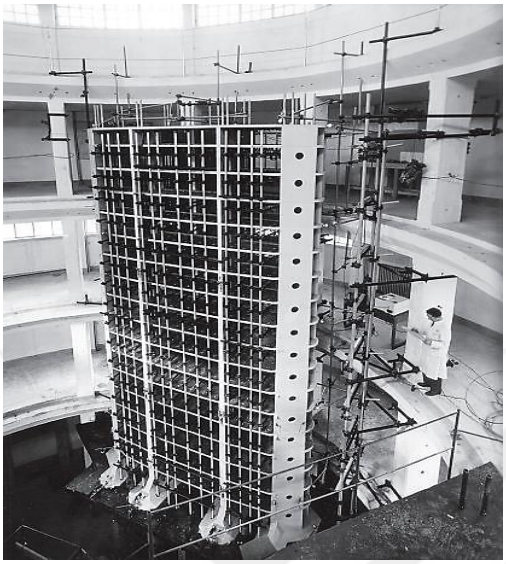
Tablo 4.8 Pirelli Kulesi

<table>
<tr><td>Pirelli Kulesi
Grattacielo Pirelli</td><td>Katalog No: 8A</td></tr>
<tr><td>Bulunduğu Ülke: İtalya</td><td>Kent: Milano</td></tr>
<tr><td>Yapım Yılı: 1956-1960</td><td>Yapı Türü: Ofis Binası</td></tr>
<tr><td>Dönemi: Olgunluk</td><td rowspan="2">
Şekil 4.51 Yapının genel görünüşü (Nervi, 1965, s. 58)</td></tr>
<tr><td>
Şekil 4.50 Kentin ülke haritasındaki konumu (Wikipedia, 2025h)</td></tr>
<tr><td>
Şekil 4.52 Yapının hava fotoğrafı (Google Maps, 2025h)</td><td>Mimari tasarımı Gio Ponti liderliğindeki bir ekip tarafından gerçekleştirilen projenin yapısal çözümü Nervi’ye aittir. Tamamlandığında 127 metre ile Avrupa’nın en yüksek binası olan yapının inşasında çelik konstrüksiyon yerine betonarme kullanma kararı, o dönem İtalya’da tasarım ve inşaat açısından önemli bir etken olan maliyet avantajı nedeniyle alınmıştır (Iori, 2009, s. 54).</td></tr>
</table>

Tablo 4.8 Pirelli Kulesi (devamı)

Pirelli Kulesi *Grattacielo Pirelli*	**Katalog No:** 8B
 **Şekil 4.53** Yapının aksonometrik kesiti (Iori, 2009, s. 56)	Ponti'nin ifadesiyle Nervi, "strüktürel bir buluş" sayesinde tasarım sürecinde belirleyici olmuş ve böylesine yüksek bir yapının adeta bir uçak kanadı kadar ince inşa edilmesini mümkün kılmıştır (Şekil 4.53). Sözkonusu buluş, geleneksel yaygın kolonlu bir iskelet yapısı yerine, yüklerin merkezdeki özel olarak tasarlanmış bir grup taşıyıcı elemanda toplandığı yeni bir strüktürel şema ile Nervi'nin ortaya koyduğu özgün yaklaşımdır (Neri, 2024, s. 195).
 **Şekil 4.54** İnşaat sürecinde oditoryum alanı (Nervi, 2018, s. 146)	Nervi'nin dokunuşu, binanın tabanında ve tepesinde de belirgindir. Tabanda Nervi, oditoryumun yapısını çapraz kiriş deseniyle belirlemiştir (Şekil 4.54). Tepede ise, artık bir iskelete indirgenmiş olan betonarme taşıyıcı sistem, kaplamasız bir şekilde özünü ortaya koymaktadır. Burularak ve kesit değiştirerek cepheden ayrılan çatı geceleyin aydınlandığında, binanın üzerine yerleştirilmiş bir 'hale' izlenimi vermektedir (Neri, 2024, s. 196).

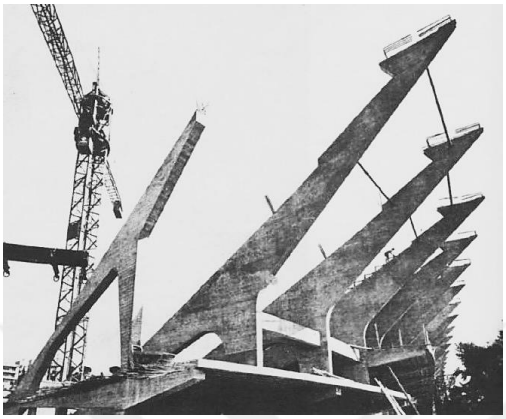
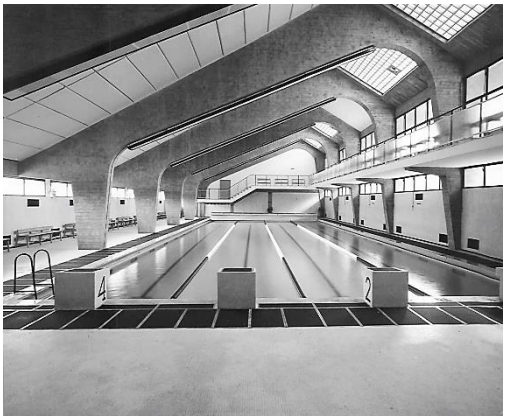
Tablo 4.8 Pirelli Kulesi (devamı)

Pirelli Kulesi *Grattacielo Pirelli*	**Katalog No:** 8C
 **Şekil 4.55** Yapının 1:10 ölçekli modeli (Nervi, 2018, s. 147)	Yapının statik analizleri için Nervi ile işbirliği yapan Arturo Danusso, ISMES laboratuvarında yaklaşık 9 metre yüksekliğinde bir test modeli yapmış ve bunu kulenin yatay kuvvetler altındaki davranışını simüle etmek için kullanmıştır (Şekil 4.55). Testlerde elde edilen verilerin teorik hesaplamalardan daha olumlu çıkmasını beklenen bir sonuç olarak yorumlayan Nervi, bu durumu fiziksel modelin yapının karmaşık gerçekliğine tam olarak karşılık gelmesi ile açıklamıştır (Nervi, 1965, s. 31).
 **Şekil 4.56** Kazanın ardından yapının görünümü (Campanelli, 2014, s. 214)	18 Nisan 2002'de küçük bir uçağın 26. kata çarparak üç kişinin ölümüne neden olduğu kaza sonrasında yapı, orijinal tasarım ve malzeme özelliklerine uygun olarak eski haline getirilmek üzere tarihsel doğruluğa büyük bir özenin gösterildiği, titiz bir restorasyona tabi tutulmuştur. Kazada yapının çarpma noktası dışında hasar görmemiş olması nedeniyle (Şekil 4.56), restorasyon projesi öncelikli olarak cephedeki giydirme duvarı içermiştir (Iori, 2009, s. 55).

Tablo 4.9 Flaminio Stadyumu

<table>
<tr><td>Flaminio Stadyumu
Stadio Flaminio</td><td>Katalog No: 9A</td></tr>
<tr><td>Bulunduğu Ülke: İtalya</td><td>Kent: Roma</td></tr>
<tr><td>Yapım Yılı: 1957-1959</td><td>Yapı Türü: Stadyum</td></tr>
<tr><td>Dönemi: Olgunluk</td><td rowspan="2">
Şekil 4.58 Yapının genel görünüşü (Nervi, 2018, s. 197)</td></tr>
<tr><td>
Şekil 4.57 Kentin ülke haritasındaki konumu (Wikipedia, 2025i)</td></tr>
<tr><td>
Şekil 4.59 Yapının hava fotoğrafı (Google Maps, 2025i)</td><td>1960 Roma Olimpiyatları için tasarlanan yapı, Nervi’nin betonarme ve prefabrikasyon tekniklerindeki ustalığının önemli bir örneğidir. “Nervi Sistemi”nin ekonomik verimliliğinin bir kanıtı olarak 900 milyon liret bütçeyle projelendirilip 810 milyon lirete tamamlanan yapı, oyun alanını çevreleyen ve altında beş spor salonu ve bir yüzme havuzu da dahil olmak üzere geniş yardımcı alanlar barındıran bir tribün halkasıyla tasarlanmıştır (Iori, 2010, s. 60).</td></tr>
</table>

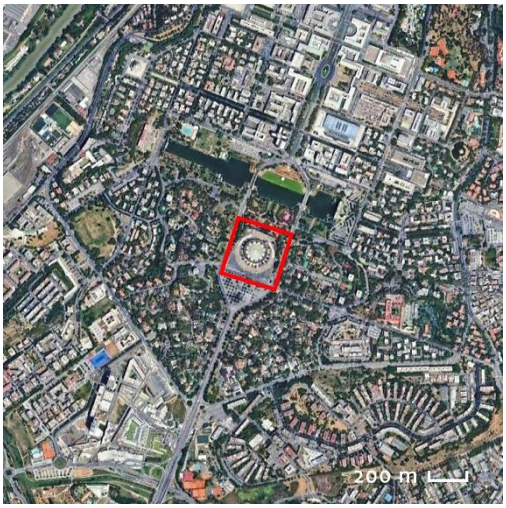
Tablo 4.9 Flaminio Stadyumu (devamı)

Flaminio Stadyumu *Stadio Flaminio*	**Katalog No:** 9B
 **Şekil 4.60** İnşaat sürecinde kapalı tribünlerin taşıyıcı çerçeveleri (Nervi, 1963, s. 88)	Ellibin seyirci kapasiteli olarak tasarlanan stadyumun inşaat süreci dikkat çekici bir hızla, 500 günde tamamlanmıştır (Şekil 4.60). Bu süreçte temel kazıkları ve yerinde dökülen taşıyıcı çerçevelerin imalatı ile optimum görüş açıklığı için farklı eğimlerde tasarlanmış tribün basamaklarının ve kapalı tribünün çatısını oluşturan değişken kesitli konsol parçalarının prefabrikasyonu eşzamanlı olarak yürütülmüştür (Iori, 2010, s. 61).
 **Şekil 4.61** Tribünün altında yer alan yüzme havuzu ve betonarme çerçeveler (Nervi, 1963, s. 94)	Eğimli betonarme kirişler arasına yerleştirilmek üzere tasarlanan koltuklar da dahil olmak üzere, yapının önemli bir bölümü prefabrike olarak üretilmiştir. Temel strüktür, stadyumun genel formunu oluşturan ve karma hatlı biçimleriyle kapalı alanları tanımlayan, iki mafsallı ve değişken yüksekliklere sahip 92 adet betonarme çerçeveden meydana gelmektedir (Şekil 4.61). Bu çerçeveler, aynı zamanda spor salonlarının tavanlarını da oluşturan ve etkili bir ısı yalıtımı sağlayan prekast basamaklarla birbirine bağlanmıştır (Iori, 2010, s. 61).

Tablo 4.9 Flaminio Stadyumu (devamı)

Flaminio Stadyumu *Stadio Flaminio*	**Katalog No:** 9C
 **Şekil 4.62** Kapalı tribünün üzerindeki konsol çatı (Nervi, 2018, s. 197)	Kapalı tribünün üzerindeki oluklu konsol çatı, her biri 4 ton ağırlığında olan ve iki vinçle yerine monte edilen prekast ferroçimento birimlerden oluşmaktadır (Şekil 4.62). Bağlantı noktasından serbest ucuna doğru düzenli olarak incelen çatının ağırlığını daha da azaltmak ve gece etkinlikleri sırasında aydınlatmaya olanak tanımak amacıyla her bir konsol kirişe dairesel lombozlar açılmıştır. Çatının arka kısmı, bu prekast elemanları desteklemek üzere yerinde dökülmüştür (Thomas, 2018, s. 118).
 **Şekil 4.63** Kapalı tribün tarafındaki desteklerin dışarıdan görünümü (Major, 1970, s. 54)	Nervi, brüt betonun estetik sonuçlarına da büyük bir özen göstermiştir. Kalıp izleri, Nervi'nin tasarım aşamasından itibaren kontrol etmeyi amaçladığı teknik ve estetik bir faktör haline gelmiştir (Şekil 4.63). Kalıplar söküldükten sonra, Paris'teki UNESCO Genel Merkezi'nde de kullanılan bir teknikle hafif kumlama yapılarak yüzeydeki kusurlar giderilmiştir. Desteklerin görünür yüzeylerindeki kalıplar için de belirli bir tasarıma göre düzenlenmiş aynı genişlikteki kalaslar kullanılmıştır (Nervi, 1965, s. 153).

Tablo 4.10 Büyük Spor Sarayı

<table>
<tr><td>Büyük Spor Sarayı
Palazzo dello Sport</td><td>Katalog No: 10A</td></tr>
<tr><td>Bulunduğu Ülke: İtalya</td><td>Kent: Roma</td></tr>
<tr><td>Yapım Yılı: 1958-1960</td><td>Yapı Türü: Spor Salonu</td></tr>
<tr><td>Dönemi: Olgunluk</td><td rowspan="2">
Şekil 4.65 Yapının genel görünüşü (Nervi, 2018, s. 203)</td></tr>
<tr><td>
Şekil 4.64 Kentin ülke haritasındaki konumu (Wikipedia, 2025j)</td></tr>
<tr><td>
Şekil 4.66 Yapının hava fotoğrafı (Google Maps, 2025j)</td><td>1960 Roma Olimpiyatları için inşa edilen, 100 metre çapında bir kubbeye ve 16.000 seyirci kapasitesine sahip olan yapıda kubbe, tribünler, galeri ve çevre kolonları da dahil olmak üzere, yaklaşık 2.500 eleman tamamen prefabrikasyonla üretilmiştir. Bu inşaat yaklaşımı teknik ve ekonomik avantajlarının yanısıra, Nervi'nin hedeflediği nihai mimari ifadeye yönelik plastik zenginliğin de kaynağı olmuştur (Nervi, 1965, s. 106).</td></tr>
</table>

Tablo 4.10 Büyük Spor Sarayı (devamı)

Büyük Spor Sarayı *Palazzo dello Sport*	**Katalog No:** 10B
 **Şekil 4.67** Kubbenin içeriden görünüşü (Neri, 2024, s. 278)	Şantiyede üretilmiş ferroçimento elemanlarla inşa edilen kubbe, merkezi bir basınç halkasına ve dairesel bir tepe penceresine doğru yakınlaşan 144 radyal kaburgadan oluşmaktadır (Şekil 4.67). Her bir kaburga, üzerini örten bir plaka ile tamamlanan V biçimli bir kesite sahiptir. İklimlendirme için kanal geçişine olanak tanıyan bu dalgalı yapı, aynı zamanda homojen bir aydınlatma sağlamakta ve içeride oluşan gürültünün sönümlenmesine yardımcı olmaktadır (Neri, 2024, s. 277).
 **Şekil 4.68** Yelpaze formundaki destek elemanları (Neri, 2024, s. 278)	Kubbe, değişken kesitli 48 adet eğik kolon üzerine, yelpaze formundaki prefabrike destek elemanları aracılığıyla oturmaktadır (Şekil 4.68). Bu yelpaze şeklindeki elemanlar kubbenin kıvrımlarından gelen itki kuvvetlerini toplayarak, eğik kolonların tepe noktalarına yoğunlaştırmaktadır. Tasarım, bu eğik kolonların ekseninin kubbe ve çatıdan aktarılan sabit yüklerin bileşkesiyle örtüşmesini sağlayarak, kubbeye etkiyen asimetrik yüklerden doğan gerilmeleri karşılayan portal çerçeve üzerindeki gerilimi en aza indirmiştir (Nervi, 1965, s. 165).

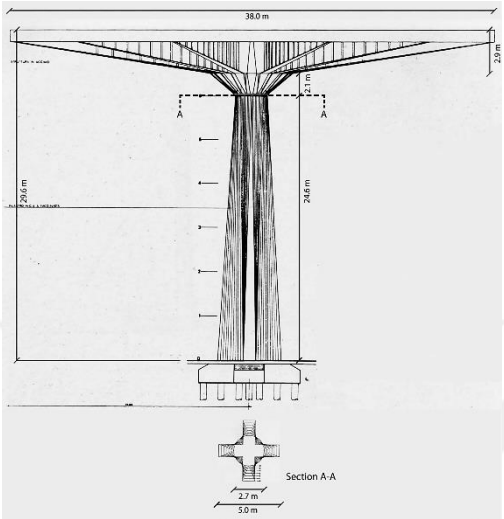
Tablo 4.10 Büyük Spor Sarayı (devamı)

Büyük Spor Sarayı *Palazzo dello Sport*	**Katalog No:** 10C
 **Şekil 4.69** İnşaat sürecinde prefabrik kubbe elemanı (Nervi, 2018, s. 208)	Yapının 18 ayda tamamlanan inşası, büyük ölçüde Nervi'nin strüktürel prefabrikasyon ile yerinde dökme betonu birleştirdiği "Nervi Sistemi"ne dayanmaktadır (Şekil 4.69). Taşıma ve montaj için yeterince hafif olması gereken ferroçimento elemanlar, ağırlığı azaltmak ve servis tesisatını geçirmek için boşluklar içerecek şekilde tasarlamıştır. Bu prekast elemanlardan dışarı uzanan donatı çubukları yerinde dökme betonla bütünleşerek monolitik bir nihai yapı meydana getirmiştir (Iori & Poretti, 2006, ss. 311-312).
 **Şekil 4.70** Çevre galerisi ve eğik kolonlar (Nervi, 2018, s. 207)	Nervi'nin yapıyı çevreleyen bir cam cepheye yönelik tasarım tercihi, özellikle geceleri yapay aydınlatmanın içerideki merdivenler, eğik kolonlar ve kubbe kaburgaları gibi karmaşık strüktürel elemanları görünür kılmasını sağlamaktadır. Kendisi de prefabrike ferroçimento elemanlardan ince bir tonozla örtülü olan çevre galerisi ve dış kolonların trilobit kesiti (Şekil 4.70), strüktürel mantığın doğrudan mimari ifadeyi şekillendirdiği yapının estetiğine katkıda bulunmaktadır (Gargiani & Bologna, 2016, ss. 317-318).

Tablo 4.11 Emek Sarayı

<table>
<tr><td>Emek Sarayı
Palazzo del Lavoro</td><td>Katalog No: 11A</td></tr>
<tr><td>Bulunduğu Ülke: İtalya</td><td>Kent: Torino</td></tr>
<tr><td>Yapım Yılı: 1960-1961</td><td>Yapı Türü: Fuar Binası</td></tr>
<tr><td>Dönemi: Olgunluk</td><td rowspan="2">
Şekil 4.72 Yapının genel görünüşü (Cresciani, 2009, s. 1579)</td></tr>
<tr><td>
Şekil 4.71 Kentin ülke haritasındaki konumu (Wikipedia, 2025k)</td></tr>
<tr><td>
Şekil 4.73 Yapının hava fotoğrafı (Google Maps, 2025k)</td><td>İtalya’nın birleşmesinin 100. yılını kutlayan “Italia ’61” uluslararası sergisi için tasarlanan ve yaklaşık 25.000 metrekare kapalı alana sahip olan binanın kesin teslim tarihi olarak belirlenen 1 Mayıs 1961’e kadar, yaklaşık 15 aylık bir süre içerisinde inşa edilme zorunluluğu, projedeki tüm tasarım ve inşaat tercihlerinde belirleyici olmuştur. Resmi formaliteler nedeniyle ancak 1960 yılının Şubat ayında başlayabilen inşaat, 12 ayda tamamlanmıştır (Iori, 2009, s. 62).</td></tr>
</table>

Tablo 4.11 Emek Sarayı (devamı)

Emek Sarayı *Palazzo del Lavoro*	**Katalog No:** 11B
 **Şekil 4.74** Çatı plakalarını taşıyan "mantar" strüktürünün görünüş ve kesiti (Cresciani & Forth, 2014, s. 57)	Kritik zaman kısıtlamaları karşısında Antonio Nervi'nin önerisiyle, tek bir büyük çatı yerine 16 adet daha küçük ve bağımsız çatı plakası tasarlanmıştır. "Mantar" olarak adlandırılan bu modüler sistem, her biri uzun bir merkezi kolonun büyük bir çatı bölümünü desteklediği on altı özdeş elemandan oluşmaktadır (Şekil 4.74). Eş zamanlı inşaat aşamalarına olanak tanıyan bu yaklaşım sayesinde bir yandan tamamlanmış ünitelerde bitirme işleri yürütülürken, diğer yandan yeni ünitelerin çalışmaları başlatılmıştır (Cresciani & Forth, 2014, s. 55).
 **Şekil 4.75** İnşaat sürecinde kolonlar (Bologna, 2013, s. 83)	Yirmibeş metre yüksekliğindeki devasa kolonlar yapının hem strüktürel bütünlüğü, hem de estetik ifadesi açısından merkezi bir rol oynamıştır (Şekil 4.75). Yüzeyi kalıptan çıktığı biçimde açıkta bırakılan bu değişken kesitli betonarme kolonlar, tabanda cephelerdeki rüzgar yüklerine karşı stabilite sağlamak üzere tasarlandıkları haç biçiminden, tepedeki konsol çelik çatı strüktürünü karşılayan dairesel bir kesite zarif bir geçiş yapmaktadır (Nervi, 1965, s. 33).

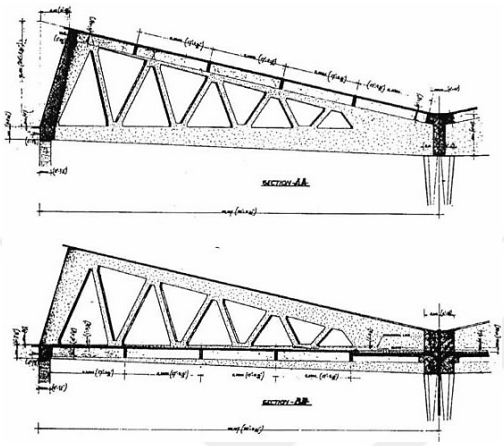
Tablo 4.11 Emek Sarayı (devamı)

Emek Sarayı *Palazzo del Lavoro*	**Katalog No:** 11C
 **Şekil 4.76** "Italia '61" sergisinde yapının içeriden görünüşü (Bologna, 2013, ss. 92-93)	Yapının çatısı, her biri yaklaşık 40x40 metre ölçülerinde 16 geniş kare plakadan oluşmaktadır (Şekil 4.76). Nervi'nin büyük açıklıkları geçmek için genellikle tercih ettiği betonarme yerine bu yapıda çelik çatı elemanları kullanmaya yönelik kritik kararı, özellikle betonun kürlenme sürelerini etkileyecek sert kış koşulları nedeniyle oluşabilecek yavaşlamalar da göz önünde bulundurularak, proje özelinde hızlı montajın mutlak gerekliliğinden kaynaklanmıştır (Cresciani, 2009, s. 1576).
 **Şekil 4.77** Asma katın izostatik kaburgalı zemini (Nervi, 2018, s. 157)	Mantarların dikilmesiyle eş zamanlı olarak, bir de asma kat galerisi inşa edilmiştir. Ferroçimento kalıpların kullanıldığı bu galeri, Nervi'nin izostatik kaburgalı döşeme tekniğini sergileyen bir zemin oluşturmuştur (Şekil 4.77). İç mekanı aydınlatmak için, çatı plakalarının arasındaki 2,5 metrelik açıklıklara cam şeritler yerleştirilmiştir. Binanın dış cephesi de cam giydirme ile kaplanmış ve dikey metal profillerle güçlendirilmiş cephe tasarımına güneş kırıcı elemanlar eklenmiştir (Iori, 2009, s. 63).

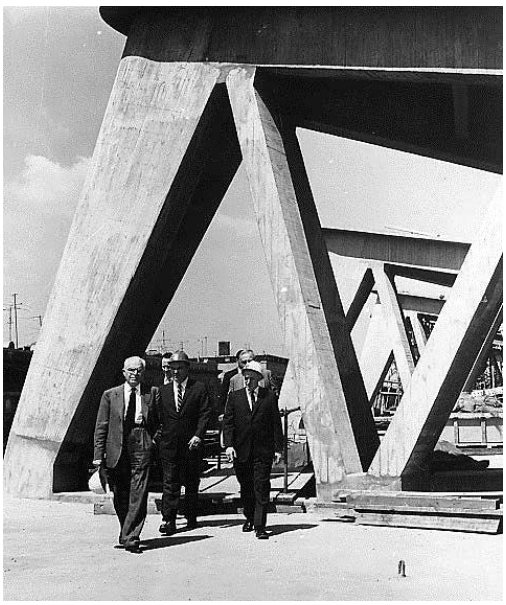
Tablo 4.12 Washington Köprüsü Otobüs Terminali

<table>
<tr><td>Washington Köprüsü Otobüs Terminali
Washington Bridge Bus Station</td><td>Katalog No: 12A</td></tr>
<tr><td>Bulunduğu Ülke: ABD</td><td>Kent: New York</td></tr>
<tr><td>Yapım Yılı: 1961-1963</td><td>Yapı Türü: Otobüs Terminali</td></tr>
<tr><td>Dönemi: Uluslararası</td><td rowspan="2">
Şekil 4.79 Yapının genel görünüşü (Neri, 2024, s. 391)</td></tr>
<tr><td>
Şekil 4.78 Kentin ülke haritasındaki konumu (Wikipedia, 2025l)</td></tr>
<tr><td>
Şekil 4.80 Yapının hava fotoğrafı (Google Maps, 2025l)</td><td>Yolcu ve otobüs hareketlerinin yarattığı işlevsel gereksinimler doğrultusunda tasarlanan yapıda, egzoz dumanının dışarı atılmasını kolaylaştırmak amacıyla çatı düzlemleri iki yanda karşılıklı olarak yükseltilmiştir. Otobüs giriş-çıkışları ve cadde geçişleri için geniş açıklıklar barındıran tasarımın yan cephelerinde kafes kirişli bir strüktür kullanılmıştır. Bu kafes kirişler, aynı zamanda çatının uçlarını da desteklemektedir (Nervi, 1965, s. 35).</td></tr>
</table>

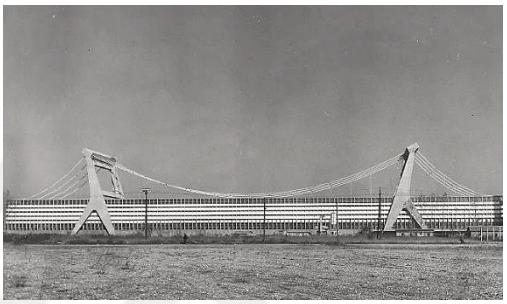
Tablo 4.12 Washington Köprüsü Otobüs Terminali (devamı)

Washington Köprüsü Otobüs Terminali *Washington Bridge Bus Station*	**Katalog No:** 12B
 **Şekil 4.81** Çatı strüktürünün kesit çizimleri (Iori, 2009, s. 72)	Kafes kirişli yan cephelerdeki karmaşık strüktürel sistemin statik çözümlemesi, bilgisayar analizleriyle Roma Üniversitesi Matematik Enstitüsü'nde gerçekleştirilmiştir (Şekil 4.81). Terminal, yeni betonarme çatı yapısını mevcut çelik metro istasyonu yapısına bağlayan hibrit bir strüktüre sahiptir. Bu bağlantı, kolonların tabanına cıvatalanmış çelik pimler aracılığıyla sağlanmıştır. Bu malzemelerin sıcaklık değişimleri karşısındaki farklı mekanik tepkilerini yönetme ihtiyacı, Nervi'yi çatıda çapraz termal derzler kullanmaya yöneltmiştir (Cresciani & Forth, 2014, s. 51).
 **Şekil 4.82** İnşaat sürecinde kafes kiriş strüktürü (Nervi, 2018, s. 162)	Terminal strüktürünün tanımlayıcı bir özelliği, binanın uzun kenarlarında zemin ve üst katlar arasındaki ayrımı belirleyen ve çatıyı destekleyen iki büyük betonarme kafes kiriştir (Şekil 4.82). 57 metrelik bir açıklığa sahip olan çatı, 28 adet üçgen kirişten oluşmakta ve 20 metre aralıkla merkezi olarak yerleştirilmiş sekiz adet betonarme kolonla desteklenmektedir (Cresciani & Forth, 2014, s. 52).

Tablo 4.12 Washington Köprüsü Otobüs Terminali (devamı)

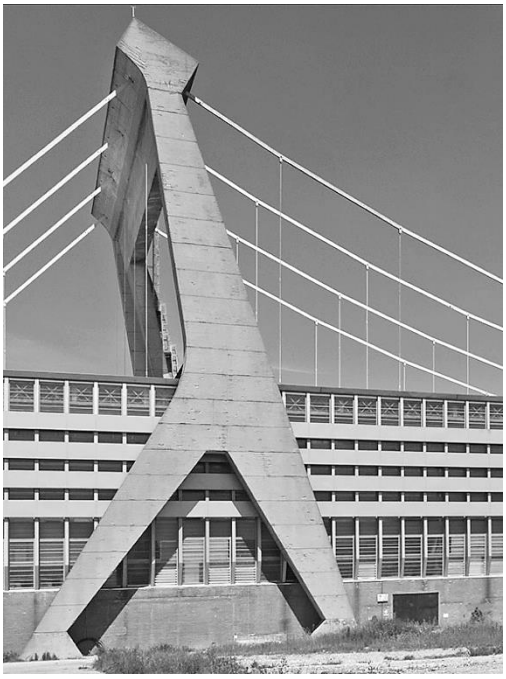
Washington Köprüsü Otobüs Terminali *Washington Bridge Bus Station*	**Katalog No:** 12C
 **Şekil 4.83** Ana taşıyıcı kolon modeli (Nervi, 2018, s. 160)	Ana taşıyıcılar olarak Nervi, dikdörtgen tabanından tepesine doğru 90 derece dönen, değişken kesitli kolonlar tasarlamıştır (Şekil 4.83). Geometride "hiperbolik paraboloid" olarak tanımlanan bu form ile kolonların kapladığı alanı en aza indirirken, çatı strüktürüne de uygun bir bağlantı sağlamıştır. Düzgün beton yüzeyler elde edebilmek amacıyla kalıp tahtalarının yerleşimi tasarım aşamasında dikkatle planlanmış, özellikle değişken kesitli merkezi kolonlar büyük bir özenle inşa edilmiştir (Nervi, 1965, s. 35).
 **Şekil 4.84** İnşaat sürecinde çatı strüktürü, önde Nervi (Bologna, 2018, s. 65)	Nervi'nin prefabrike çatı bileşenleri kullanma niyetine rağmen, yerel inşaat uygulamaları, maliyet hesapları ve şantiyede prefabrikasyon için yeterli alan olmaması gibi nedenlerle çatının ahşap kalıplar kullanılarak yerinde dökülmesine karar verilmiştir (Şekil 4.84). Sonuç olarak inşaat sürecinde "Nervi Sistemi"nin yerini büyük ölçüde geleneksel betonarme döşemeler almış, Nervi'nin özgün üslubu ise yapım yönteminden ziyade, strüktür estetiğinde ifadesini bulmuştur (Bologna, 2018, s. 63).

Tablo 4.13 Burgo Kağıt Fabrikası

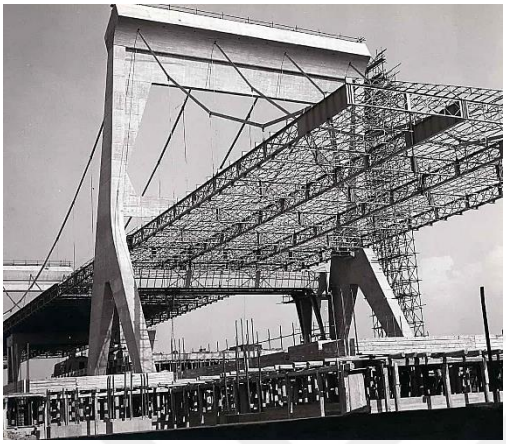
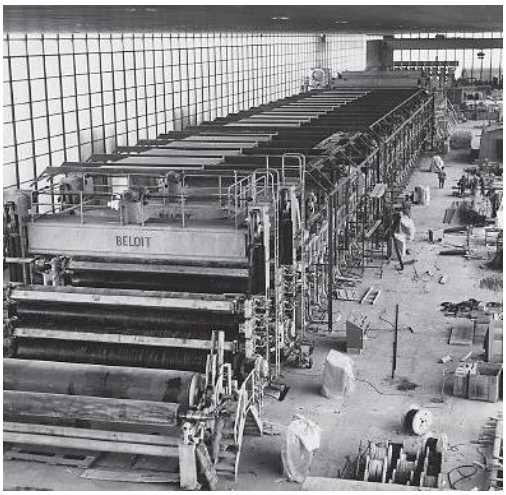
<table>
<tr><td>Burgo Kağıt Fabrikası
Cartiera Burgo</td><td>Katalog No: 13A</td></tr>
<tr><td>Bulunduğu Ülke: İtalya</td><td>Kent: Mantova</td></tr>
<tr><td>Yapım Yılı: 1961-1964</td><td>Yapı Türü: Fabrika Binası</td></tr>
<tr><td>Dönemi: Uluslararası</td><td rowspan="2">
Şekil 4.86 Yapının genel görünüşü (Nervi, 2018, s. 164)</td></tr>
<tr><td>
Şekil 4.85 Kentin ülke haritasındaki konumu (Wikipedia, 2025m)</td></tr>
<tr><td>

Şekil 4.87 Yapının hava fotoğrafı (Google Maps, 2025m)</td><td>Yapı, Nervi’nin alışılagelmiş statik sistemlerinden farklı olarak, büyük bir asma köprüyü andırmaktadır. Yeni geliştirilmiş devasa bir kağıt üretim bandını barındırmak üzere tasarlanan 30 metre genişliğinde ve 250 metre uzunluğundaki fabrika binasının iç mekanında hiçbir dikey taşıyıcı eleman bulunmamaktadır (Cresciani, 2009, s. 1580).</td></tr>
</table>

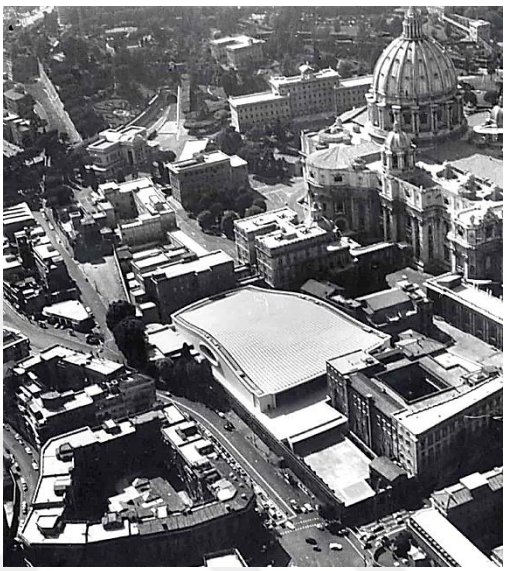
Tablo 4.13 Burgo Kağıt Fabrikası (devamı)

Burgo Kağıt Fabrikası *Cartiera Burgo*	**Katalog No:** 13B
 **Şekil 4.88** Ayaklar için betonarme panellerden oluşturulan kalıcı kalıplar (Gargiani & Bologna, 2016, s. 368)	Geleneksel kalıpların ötesine geçerek, farklı disiplinlerden ödünç aldığı teknikleri yenilikçi bir çözümde ustaca harmanlayan Nervi, ayakların inşası için de kalıcı bir kalıp türü geliştirmiştir (Şekil 4.88). Formu oluşturmak üzere nervürler aracılığıyla birbirine bağlanan prefabrike betonarme paneller hem içlerine dökülecek beton için kalıp işlevi görmüş, hem de maliyetli sıva işlemine gerek kalmadan açıkta bırakılabilecek ve estetik açıdan tatmin edici yüzeyler elde edilmiştir (Nervi, 1965, s. 36).
 **Şekil 4.89** Ayak strüktürü (Nervi, 2018, s. 166)	Birbirinden 164 metre uzaklıkta konumlandırılmış ayaklar, askı halatlarının yaratacağı çekme kuvvetlerine mümkün olan en iyi tepkiyi vermek üzere geriye doğru eğimlendirilmiş ve daha kısa betonarme payandalarla desteklenmiştir (Şekil 4.89). Halatların bağlı olduğu üst kirişler de halatlarla aynı doğrultuda hizalanmış, bu da ayaklara adeta statik kuvvetlerin etkileşimi ile oluşmuş gibi algılanan antropomorfik bir form kazandırmıştır (Iori, 2009, s. 67).

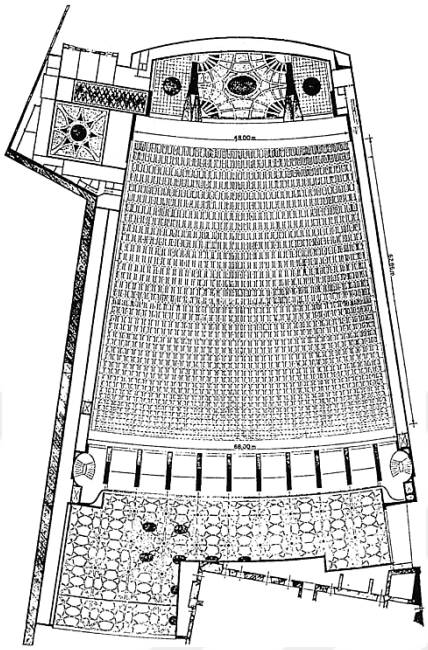
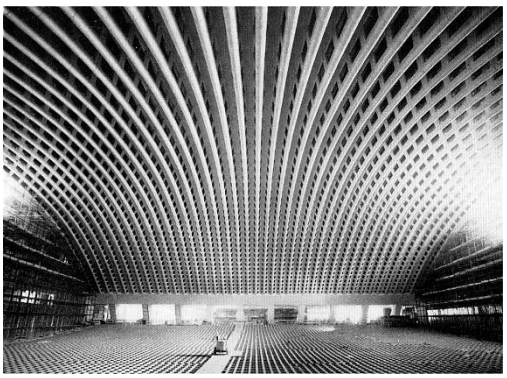
Tablo 4.13 Burgo Kağıt Fabrikası (devamı)

Burgo Kağıt Fabrikası *Cartiera Burgo*	**Katalog No:** 13C
 **Şekil 4.90** İnşaat sürecinde çelik çatı strüktürü (Neri, 2024, s. 294)	Ayakların arasına çekilen dört adet askı halatı boyunca eklem yerlerine konumlandırılmış dikey asma teller, hafif ve kolay monte edilebilir bir ızgara olarak tasarlanmış çelik çatı yüzeyini taşımaktadır (Şekil 4.90). Nervi, böylece dünyanın en uzun çatılarından birini büyük bir ekonomik verimliliğin yanısıra estetik açıdan da tatminkar bir sonuç elde ederek ortaya koymuştur (Salvadori, 1980, s. 160).
 **Şekil 4.91** Fabrikanın içerisinden genel görünüm (Nervi, 2018, s. 166)	Fabrikada iç sıcaklığın 50 santigrat dereceye ulaşabileceği ve buna bağlı olarak asılı çelik yapıda termal deformasyon aralığının 20 santimetrenin üzerinde olacağı hesaplanmıştır (Şekil 4.91). Bu durumda duvarın çatıya bağlanmasının yaratacağı sorunun çözümü için Nervi oldukça pratik bir yaklaşımla, alışılmış prosedürü ustaca tersine çevirmiştir. Perde duvarların yukarıdan asıldığı genel uygulamanın aksine, duvarlar temel içerisine yerleştirilmiş ve üstte serbest kalan, büyük dikey konsol elemanlar olarak tasarlanmıştır (Cresciani, 2009, s. 1583).

Tablo 4.14 Papalık Dinleyici Salonu

<table>
<tr><td>Papalık Dinleyici Salonu
Aula delle Udienze Pontificie</td><td>Katalog No: 14A</td></tr>
<tr><td>Bulunduğu Ülke: Vatikan</td><td>Kent: Vatikan</td></tr>
<tr><td>Yapım Yılı: 1963-1971</td><td>Yapı Türü: Toplantı Binası</td></tr>
<tr><td>Dönemi: Uluslararası</td><td rowspan="2">
Şekil 4.93 Yapının genel görünüşü (Neri, 2024, s. 303)</td></tr>
<tr><td>
Şekil 4.92 Ülke-kentin haritadaki konumu (Wikipedia, 2025n)</td></tr>
<tr><td>
Şekil 4.94 Yapının hava fotoğrafı (Google Maps, 2025n)</td><td>Nervi’nin en önemli ve en prestijli eseri olarak görülen yapı, aynı zamanda Bernini’nin St. Peter Meydanı’nı tamamladığı 1667 yılından beri Vatikan tarafından girişilen en büyük projedir. Geleneksel olarak St. Peter Bazilikası’nda gerçekleştirilen ve zaman içerisinde aşırı kalabalıklaşarak idaresi güçleşen papalık kabul törenlerini çağdaş bir anlayışla yeniden düzenlemek üzere, Papa VI. Paul tarafından sipariş edilmiştir (Leslie, 2017, s. 142).</td></tr>
</table>

Tablo 4.14 Papalık Dinleyici Salonu (devamı)

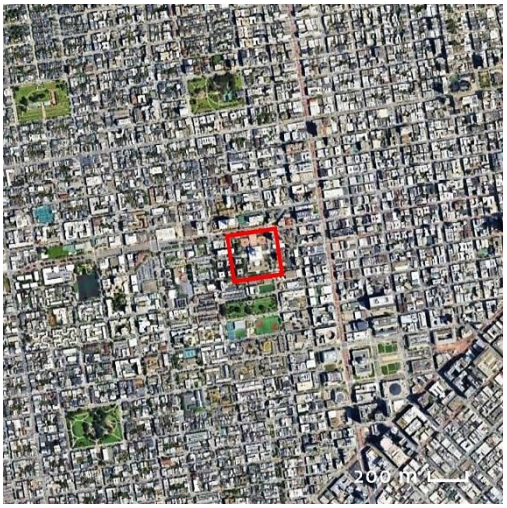
Papalık Dinleyici Salonu *Aula delle Udienze Pontificie*	**Katalog No:** 14B
 **Şekil 4.95** Yapının planı (Iori, 2009, s. 74)	Yapının mimari tasarımında, uzatılmış yamuk formundaki arsa alanını örtmek üzere geliştirilen geniş açıklıklı çatı belirleyici bir rol oynamaktadır (Şekil 4.95). Nervi'nin önceki deneyimlerinin ileri bir aşaması niteliğindeki bu çatı, düşey kesitleri bir zincir eğrisi formunu izleyen büyük bir tonozdan oluşmaktadır. İç mekanda salonun sahneye doğru daralan yamuk planına uyum sağlayacak şekilde sahneye yaklaştıkça daralıp alçalan çatı, papalık tahtına doğru güçlü bir perspektif etkisi yaratmaktadır (Iori, 2009, ss. 74-75).
 **Şekil 4.96** Salonun sahneden görünüşü (Iori, 2009, s. 75)	Nervi'nin ferroçimento malzemeden strüktürel prefabrikasyon yöntemiyle ürettiği dalga bloklarından inşa edilen çatının oluklu yapısı (Şekil 4.96), strüktürel işlevlerinin yanısıra hem sesin bir noktada odaklanmasını engelleyerek akustik bir işlev görmekte, hem de çeşitli tesisat kanallarını gizleyerek pratik bir çözüm sunmaktadır (Radelet-deGrave, 2018, s. 1102). Papalık tahtının konulduğu sahnenin üzeri ile fuayenin tavanında Nervi'nin özgün izostatik kaburgalı döşeme sistemleri uygulanmıştır.

Tablo 4.14 Papalık Dinleyici Salonu (devamı)

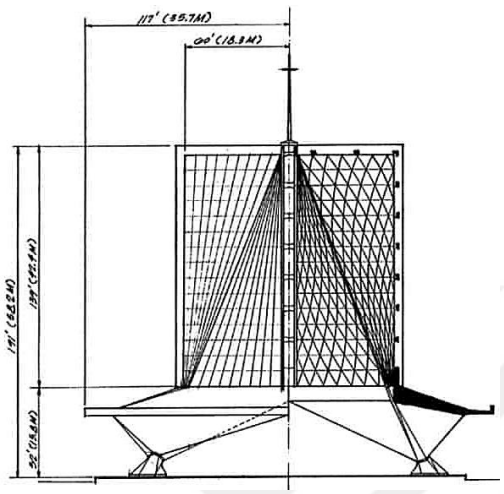
Papalık Dinleyici Salonu *Aula delle Udienze Pontificie*	**Katalog No:** 14C
 **Şekil 4.97** İnşaat sürecinde sahne yönündeki payanda (Neri, 2024, s. 306)	Yaklaşık 10.000 kişilik bir kapasiteye sahip olacak şekilde tasarlanan yapının iç mekanınında birbirine doğru yakınlaşan yan duvarlar da dikkatin papalık tahtına doğru yönelmesinde etkili olmaktadır. Tahtının iki yanında, doğrusal hatlardan oluşturulmuş eğrisel yüzeylere sahip ve etkileyici bir açıyla yerleştirilmiş iki devasa payanda bulunmaktadır (Şekil 4.97). Fuaye tarafında ise, insan sirkülasyonunu ve görüş açılarını düzenleyen on adet daha küçük boyutlu payanda yer almaktadır (Neri, 2024, ss. 302-303).
 **Şekil 4.98** Törenlerde papalık tahtının konulduğu sahne (Gargiani & Bologna, 2016, s. 409)	Yapı, önemli sembolik anlamlarla tasarlamıştır. Tahtı çevreleyen güçlü payandalar kilisenin kucaklayan kollarını temsil ederken (Şekil 4.98), girişteki on adet payanda da cemaatin parmaklarını sembolize etmektedir. Nervi'nin beton üretiminde mermer agregalı beyaz çimento kullanma kararı, genellikle mütevazı kabul edilen bir malzemeyi bilinçli bir şekilde daha soylu bir niteliğe büründürme ve Vatikan'ın tarihi boyunca süregelen değerli taş kullanım geleneğiyle de bağ kurmaktadır (Leslie, 2017, ss. 147-149).

Tablo 4.15 Meryem Ana Katedrali

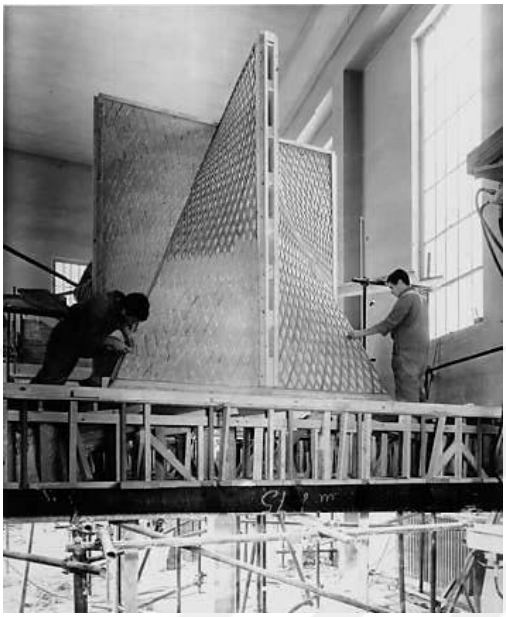
<table>
<tr><td>Meryem Ana Katedrali
Cathedral of Saint Mary</td><td>Katalog No: 15A</td></tr>
<tr><td>Bulunduğu Ülke: ABD</td><td>Kent: San Francisco</td></tr>
<tr><td>Yapım Yılı: 1967-1971</td><td>Yapı Türü: Katedral</td></tr>
<tr><td>Dönemi: Uluslararası</td><td rowspan="2">
Şekil 4.100 Yapının genel görünüşü (Olmo, 2010, s. 36)</td></tr>
<tr><td>
Şekil 4.99 Kentin ülke haritasındaki konumu (Wikipedia, 2025o)


Şekil 4.101 Yapının hava fotoğrafı (Google Maps, 2025o)</td><td>Mimari konsepti Pietro Belluschi tarafından oluşturulan etkileyici çatı formunu geliştirmek üzere tasarım ekibine katılan Nervi’nin projedeki asıl rolü, tasarımı rasyonelleştirmek ve masif çatı için gereken taşıyıcı elemanları aşağıda hedeflenen ibadet deneyimiyle uyumlu hale getirmek olmuştur. Nervi, kare bir plan üzerine oturan dört beton kabuk şeklindeki başlangıç konseptinin strüktürel olarak sağlam bir yapıya dönüşmesini sağlamıştır (Leslie, 2017, ss. 150-152).</td></tr>
</table>

Tablo 4.15 Meryem Ana Katedrali (devamı)

Meryem Ana Katedrali *Cathedral of Saint Mary*	**Katalog No:** 15B
 **Şekil 4.102** Yapının kesit çizimi (Neri, 2024, s. 343)	Yaklaşık 60 metre yüksekliğindeki kubbenin tonozlarında "Nervi Sistemi" ile üretilmiş üçgen prefabrike beton elemanlardan oluşan bir ağ örgüsü kullanılmıştır (Şekil 4.102). Alışılmış eşkenar dörtgenler yerine tercih edilen bu üçgen elemanlar, kabukları daha da sertleştiren ek bir yatay kaburga ağı oluşturmuştur. Hiperbolik paraboloid kabukların doğrusal hatları prekast panellere dönüştürülmüş ve Nervi'nin yirmi yıldır mükemmelleştirdiği bir sistemle yerine kaynaklanıp derzlerine beton dökülerek monolitik hale getirilmiştir (Neri, 2014, s. 219).
 **Şekil 4.103** Çatıyı taşıyan ayaklar (Neri, 2014, s. 241)	Yapının tabanında Nervi, kariyerinin en karmaşık doğrusal yüzeyli ayaklarını tasarlamıştır (Şekil 4.103). Yelpaze şeklindeki bu geniş beton elemanlar, çatının ayrı çeyreklerinden gelen yükleri toplayarak dar bir boğazdan geçirmekte ve ardından açılı ayaklar üzerine yaymaktadır. Bu ayakların açısal geometrisinde görünür hale gelen karmaşık statik davranış, kabukların muazzam ağırlığının bu dar boğazlar üzerinde dengelenmesini sağlamıştır (Leslie, 2017, s. 153).

Tablo 4.15 Meryem Ana Katedrali (devamı)

Meryem Ana Katedrali *Cathedral of Saint Mary*	**Katalog No:** 15C
 **Şekil 4.104** Laboratuarda üretilen ölçekli model (Neri, 2014, s. 219)	Katedralin aktif bir sismik bölgede yer alması, önemli strüktürel zorluklar ortaya çıkarmıştır. İtalya'daki ISMES laboratuarlarında yapılan modelleme testlerinin (Şekil 4.104) başlangıçta Belluschi tarafından tabanında cam bantlarla tasarlanan çatının büyük bir deprem sırasında dört dar desteğinden kaymaya karşı savunmasız olduğunu ortaya koyması üzerine Nervi, kubbe için gerekli kesme direncini sağlamak üzere katedralin dört cephesinin her birinin merkezine taş kaplı masif duvarlar eklemiştir (Leslie, 2017, s. 153).
 **Şekil 4.105** Yapının içeriden görünüşü (Neri, 2014, s. 221)	Yapının içindeki estetik ve mekansal deneyim de Nervi'nin katkılarıyla şekillenmiştir (Şekil 4.105). Köşeleri destekleyen karmaşık yüzeyli ayaklar ve prefabrike çatı tonozunun kaburgalı dokusu gibi strüktürel elemanlar yalnızca işlevsel olmakla kalmamış, aynı zamanda birincil mimari ifadeler olarak da yapıya hizmet etmiştir. Bu sonuç, Nervi'nin kariyeri boyunca savunduğu ve strüktürün estetik değerine vurgu yapan "yapısal doğruluk" ilkesiyle örtüşmektedir (Leslie, 2017, s. 154).

5
DEĞERLENDİRME

Pier Luigi Nervi'nin inşa etme sanatı ve bilimine yaptığı özgün katkının bütüncül bir değerlendirmesi, onun kariyeri boyunca tutarlı bir biçimde gelişen ve olgunlaşan tasarım metodolojisinin evrimini izlemeyi gerektirmektedir. Başarılı mühendislik çözümlerinden güçlü bir strüktürel dışavuruma uzanan kararlı ve belirleyici bir keşif yolculuğu olarak tanımlanabilecek bu evrim, bağımsız kariyerinin daha başlarında dekoratif yüzeylerin ardına gizlemekten vazgeçtiği yenilikçi strüktürlerinin, zamanla mimari ifadesinin doğrudan ve birincil kaynağı haline gelişiyle biçimsel karşılığını bulmuştur. Erken dönemdeki strüktürel ifade arayışlarından olgunluk dönemindeki bütünleşik "Nervi Sistemi"ne ve nihayetinde uluslararası pratiğindeki üslup adaptasyonuna uzanan bu evrimin temel aşamaları ve her bir aşamayı tanımlayan belirleyici faktörler Tablo 5.1'de karşılaştırmalı olarak özetlenmektedir.

Dördüncü bölümde tanımlandığı biçimiyle kariyerinin erken dönemi, Nervi'nin karmaşık strüktürel sorunları dikkate değer bir ustalıkla çözmek üzere kullandığı betonarme konusundaki hakimiyetiyle karakterize olmakla birlikte, yenilikçi yetenekleri dönemin eklektik ve bezemeye yönelik taleplerine bağlı olarak büyük ölçüde gizli kalmıştır. Bu ilk evrenin en belirgin örneği, Napoli'deki Augusteo Sineması projesidir (Bkz. Katalog No: 1A, B, C). Bu projede Nervi, yaklaşık 30 metre çapında dairesel bir oditoryumun ve ona bağlı birimlerin, yoğun bir kentsel doku içinde ve bir füniküler istasyonunun üzerinde konumlandırılmasının getirdiği ciddi strüktürel zorlukları çözmek için oldukça karmaşık, mafsallı ve yüksek derecede hiperstatik bir betonarme iskelet tasarlamıştır (Bkz. Bölüm 4, Şekil 4.4, 4.5). Birbiriyle bağlantılı elemanlardan oluşan çok katmanlı bir çerçeve sisteminin sunduğu statik çözüm, oditoryumu çevreleyen on yedi büyük kolondan yayılan

kirişlerin, çok yüzlü bir tavan halkasını ve üst katın çapraz kirişlerinden oluşan bir kafes sistemini taşımasına dayanmaktadır (Bkz. Bölüm 4, Şekil 4.6). Dönemin mimari teamüllerine uygun olarak sıva ve dekoratif unsurlardan oluşan katmanların ardında kalmış olsa da, Nervi'nin, üzeri kaplanmadan önce yapının çıplak strüktürünün profesyonel olarak fotoğraflanmasını istemesi, onun daha o zamanlarda bir mühendislik eserinin doğasında var olan ifade gücünün ve gizlemek zorunda kaldığı bu içkin estetik potansiyelin farkında olduğuna dair bir kanıt olarak kabul edilebilir.

Nervi'nin mesleki pratiği ile gelişmekte olan duyarlılığı arasındaki bu gerilim, Floransa'daki Giovanni Berta Stadyumu projesiyle (Bkz. Katalog No: 2A, B, C) çözüme kavuşmuştur. Bu proje, Nervi'ye strüktürü gizlemekten vazgeçip bir mimari ifade olarak ortaya koyması için hem bir gerekçe, hem de fırsat sunmuştur. Stadyum, doğası gereği öncelikli olarak işlev, görüş açıları ve strüktürel performansla tanımlanan bir yapı olduğundan, tasarımı eklektik geleneğin ve bezemeci taleplerin kapsamı dışında kalmıştır. Bu yapı, Nervi'nin salt işlevsel mühendislik çözümlerinin ötesine geçerek, strüktürel elemanları bilinçli bir estetik ifade aracı olarak kullandığı ilk büyük ölçekli projedir. Tasarım sürecinde taşıyıcı elemanların eğrilerini ve bağlantılarını titizlikle şekillendiren Nervi, ekonomik ve teknik kısıtlamaların estetik değer üreten unsurlara dönüşebileceğini de bu projede fark etmiştir (Bkz. Bölüm 4, Şekil 4.11). Stadyumun 22,6 metrelik konsol çatısı, tribün kütlesinin karşı ağırlığı ve yapının profiline ustalıkla entegre edilmiş çapraz payandalarla dengelenmiştir (Bkz. Bölüm 4, Şekil 4.12). Projeye sonradan eklenen dış merdivenlerin spiral formu estetik bir denge sağlamanın yanısıra, ana kirişteki burulma etkilerini de azaltan önemli bir statik rol üstlenmiştir (Bkz. Bölüm 4, Şekil 4.13). Strüktür, bu proje ile birlikte gizlenmesi gereken bir altyapı olmaktan çıkıp, mimarinin birincil ifade aracına dönüşmüştür. Bu bilinçli değişim, dönemin eleştirmenleri tarafından da fark edilmiş ve stadyum, "tamamen işlevsel olanın anıtsal güzelliği" sözleriyle övülmüştür. Nervi için bu başarı, teknik bir sorunun disiplinli ve doğru bir biçimde çözülmesiyle organik olarak ortaya çıkan mimari ifadenin önemine yönelik gelişmekte olan tasarım felsefesinin de bir doğrulaması olmuştur.

Giovanni Berta Stadyumu'nda yaşanan bu önemli atılımın ardından Nervi, kendine özgü tasarım ve inşaat metodolojisinin kodlarını oluşturduğu, yoğun bir yenilikçilik

Tablo 5.1 Kataloğa alınan yapıların karşılaştırmalı analizi

Proje	Dönem	Belirleyici Etken	Strüktürel İnovasyon	Malzeme/İnşaat Tekniği	Estetik Sonuç
Augusteo Sineması	Erken (1925-29)	Karmaşık kentsel konum, mevcut füniküler istasyonu.	Mafsallı betonarme iskelet, çapraz çatı makasları.	Yerinde dökme betonarme.	Strüktürün ifade potansiyelinin erken farkındalığı.
Giovanni Berta Stadyumu	Geçiş (1929-32)	Ekonomik ve estetik sentez arayışı.	Konsol çatı, spiral merdivenler.	Yerinde dökme betonarme.	Strüktürün figüratif ifadesi.
Orvieto Hangarları	Geçiş (1935-42)	Çelik kıtlığı, kalıp maliyeti, analitik hesaplama zorluğu.	Jeodezik tonoz, ölçekli model testi, "strüktürel prefabrikasyon"un icadı.	Yerinde dökme betonarme (1. seri), strüktürel prefabrikasyon (2. seri).	Monolitik, rasyonel kabuk form.
Torino Sergi Sarayı	Konsolidasyon (1947-48)	Hızlı ve ekonomik yeniden inşa ihtiyacı.	Dalgalı tonoz, eşkenar dörtgen prefabrike bloklar.	“Nervi Sistemi”, kalıcı ferroçimento kalıplar.	Form yoluyla mukavemetin zarafeti.
Gatti Yün Fabrikası	Konsolidasyon (1951-53)	Optimize edilmiş strüktürel düzen arayışı.	"İzostatik kaburgalı döşeme" sistemi.	Kalıcı ferroçimento kalıplar, hareketli metal iskeleler.	Strüktürün süs haline gelmesi, organik akış.
UNESCO Genel Merkezi	Konsolidasyon (1953-58)	Uluslararası işbirliği, Paris’in yükseklik kısıtlaması.	Konsollu döşeme, değişken kesitli kolonlar, ondüle konferans salonu.	Brüt beton, ahşap kalıp deneyleri.	Strüktürel dürüstlük, brüt beton estetiği.
Küçük Spor Sarayı	Olgunluk (1956-57)	Olimpiyatlar için prestij, zaman kısıtı.	Y-şekilli payandalarla desteklenen kaburgalı kubbe.	“Tavelloni”, strüktürel prefabrikasyon.	Strüktürün tektonik bir süslemeye dönüşmesi.
Pirelli Kulesi	Olgunluk (1956-60)	Gio Ponti ile işbirliği, bütçe kısıtı.	Yükleri merkezde toplayan taşıyıcı sistem.	Betonarme, ölçekli model testi.	İnce, zarif gökdelen formu.
Flaminio Stadyumu	Olgunluk (1957-59)	Zaman ve bütçe kısıtı, çok işlevlilik ihtiyacı.	Oluklu konsol çatı, değişken eğimli tribünler.	"Nervi Sistemi".	Brüt beton estetiği, kalıp izlerinin bilinçli kullanımı.
Büyük Spor Sarayı	Olgunluk (1958-60)	Zaman kısıtı, kapasite ihtiyacı.	100 metre çapındaki kubbe, yelpaze formlu destekler.	"Nervi Sistemi".	Strüktürel karmaşıklığın cam cepheyle sergilenmesi.
Emek Sarayı	Olgunluk (1960-61)	Zaman kısıtı, kış koşulları.	Modüler "mantar" strüktür, devasa değişken kesitli kolonlar.	Çelik çatı, betonarme kolonlar.	Ritmik, modüler iç mekan.
Washington Köprü İstasyonu	Uluslararası (1961-63)	Yerel inşaat uygulamaları, prefabrikasyon alanı yokluğu.	Dev betonarme kafes kirişler, hiperbolik paraboloid kolonlar.	Yerinde dökme beton, bilgisayar analizi.	Dramatik çatı formu.
Burgo Kağıt Fabrikası	Uluslararası (1961-64)	Kolonsuz geniş iç mekan gerekliliği.	Asma köprü strüktürü.	Çelik askı halatları, kalıcı betonarme panel kalıplar.	Antropomorfik ayaklar, hafif asma çatı.
Papalık Dinleyici Salonu	Uluslararası (1963-71)	Prestijli tarihi bağlam, kapasite ihtiyacı.	Zincir eğrisi formunda tonoz, devasa payandalar.	Prefabrike dalgalı ferroçimento bloklar, mermer agregalı beyaz çimento.	Güçlü perspektif etkisi, sembolik formlar.
Meryem Ana Katedrali	Uluslararası (1967-71)	Uluslararası işbirliği, sismik zorunluluklar.	Hiperbolik paraboloid kabukların rasyonalizasyonu.	Prefabrike üçgen beton elemanlar, sismik model testi.	Strüktürel ifadenin üslup olarak uygulanması.

dönemine girmiştir. Bu sürecin dönüm noktası, İtalyan Hava Kuvvetleri için tasarladığı Orvieto Hangarları projesidir (Bkz. Katalog No: 3A, B, C). 1935-1938 yılları arasında farklı kentlerde inşa edilen birinci seri hangarların kesişen kemerlerden oluşan jeodezik tonozlarında kullanılan yerinde dökme betonarme tekniği son derece başarılı sonuçlar vermiş, ancak bu yöntem oldukça karmaşık ve pahalı ahşap kalıplar gerektirmiştir (Bkz. Bölüm 4, Şekil 4.18). O dönemde projenin kesin analitik hesaplamalarının yapılamaması, Nervi'yi Milano Politeknik'ten Profesör Arturo Danusso ile işbirliğine giderek, ölçekli modeller üzerinde mekanik gerilim testleri yapmaya yöneltmiştir (Bkz. Bölüm 4, Şekil 4.19). Bu deneysel yaklaşımın tasarımı doğrulamasının yanısıra, Nervi'nin yaptığı yaklaşık hesaplamaların aşırı ihtiyatlı olduğunu da ortaya koyarak, çelik donatı miktarının önemli ölçüde azaltılmasına olanak sağlanması üzerine Nervi, sonraki projelerinde bu ölçekli model testlerini standart bir uygulama haline getirmiştir. Asıl devrim ise, 1939 yılında sipariş edilen ikinci seri hangarlarla gelmiştir (Bkz. Bölüm 4, Şekil 4.20). Bu hangarlarda Nervi, devasa tonoz strüktürünü şantiye zemininde seri halde üretilebilen küçük ve hafif elemanlara ayırmıştır. Bu parçalar bir iskele üzerinde nihai konumlarına yerleştirilmiş ve donatı demirlerinden birbirlerine kaynaklandıktan sonra derzlerine beton dökülerek monolitik bir bütün oluşturacak şekilde birleştirilmiştir. "Strüktürel prefabrikasyon" adıyla patentini aldığı bu yöntem, maliyetli ahşap kalıp ihtiyacını ortadan kaldırarak zaman, malzeme ve işçilikten büyük tasarruf sağlamıştır (Bkz. Bölüm 4, Şekil 4.21). Esasen inşaat sürecinin ekonomik ve pratik kısıtlamalarından doğmuş olan bu inovasyon, zaman içerisinde Nervi tasarımlarının belirleyici unsurlarından biri haline gelmiştir.

Nervi'nin sürekli geliştirdiği metodolojisinin konsolide olduğu ve 1943 yılında patentini aldığı "ferroçimento"nun da katılımıyla, daha sonraları "Nervi Sistemi" olarak anılacak bütünleşik bir çözümün uygulandığı ilk büyük ölçekli proje, savaş sonrası dönemin acil ihtiyaçları doğrultusunda rekor bir sürede inşa edilen Torino Sergi Sarayı Agnelli Salonu'dur (Bkz. Katalog No: 4A, B, C). Yapının yaklaşık 100 metrelik açıklığı geçen devasa çatı tonozu, yalnızca üç santimetre kalınlığındaki prefabrike ferroçimento dalgalarından oluşmaktadır (Bkz. Bölüm 4, Şekil 4.25). Nervi'nin "form yoluyla mukavemet" ilkesini mükemmel bir şekilde somutlaştıran bu dalgalı elemanlar aynı zamanda hem yerinde dökülen strüktürel kaburgalar için kalıcı kalıp işlevi görmüş, hem de çatının nihai mimari yüzeyini oluşturmuştur

(Bkz. Bölüm 4, Şekil 4.27). Maliyetli kalıp işçiliğini neredeyse tamamen ortadan kaldıran bu devrim niteliğindeki bütünleşik çözüm, inşaat sürecini de dramatik bir biçimde hızlandırmıştır.

Zamanla pragmatik bir teknikler bütünü olmanın ötesine geçerek, kendine özgü bir mimari dile dönüşen bu metodolojinin kendine has söz dağarcığı, keyfi bir üslup tercihinin değil, sistemin temelini oluşturan strüktürel verimlilik, ekonomi ve üretim mantığı ilkelerinin bir sonucudur. Bu söz dağarcığını oluşturan karakteristik formların ilki ve en temel olanı, Nervi'nin Torino Sergi Sarayı'nda kullandığı dalgalı tonoz formudur. Ondüleli profil, asgari malzeme ile üretilmiş son derece ince ferroçimento kabuklara gerekli strüktürel dayanımı kazandırmanın yanısıra, yapının estetik etkisi üzerinde de belirleyici olmuştur. Tekrarlanan dalgalar gözü salonun derinliklerine çeken güçlü bir ritim yaratırken, kavisli yüzeyleri ince ve karmaşık bir ışık-gölge oyunu oluşturmuştur. Böylece mimari ifade, strüktürün ve inşa sürecinin okunabilir bir kaydına dönüşmüştür.

Dilin bir diğer kilit unsuru ise, Gatti Yün Fabrikası'nın (Bkz. Katalog No: 5A, B, C) bodrum kat tavanında ifadesini bulan izostatik ağdır. Burada döşemenin kaburgalı yapısı, asal eğilme momentlerinin izostatik çizgilerini takip edecek biçimde tasarlanmıştır. Malzemeyi eğilme kuvvetlerine direnmek için en çok ihtiyaç duyulan noktalarda yoğunlaştıran bu strüktürel mantık, kolonlardan organik olarak yayılan ve doğrusal olmayan bir desen üretmiştir (Bkz. Bölüm 4, Şekil 4.30). Nervi'nin geliştirdiği yeniden kullanılabilir ferroçimento kalıp sistemi, bu karmaşık geometriyi ekonomik olarak gerçekleştirilebilir kılmıştır. Ortaya çıkan estetik, yalnızca strüktürel mantığı görünür kılmakla kalmaz, aynı zamanda güçlü bir görsel ritim ve doku da yaratır. Nervi Sistemi'nin mimari dilini basit geometrik tekrarların ötesine geçiren bu proje, iç kuvvetlerin akışkan dinamiklerini de söz dağarcığına eklemiştir (Bkz. Bölüm 4, Şekil 4.32).

Üçüncü olarak, prefabrikasyon ilkesinin farklı uygulamalarında devasa kubbeleri küçük, tekrarlanabilir birimlere bölme mantığı, onun imzası haline gelen eşkenar dörtgen veya üçgen desenli taşıyıcı kafesleri doğurmuştur. Bu estetik, en ünlü ifadesini Roma'daki Küçük Spor Sarayı'nın (Bkz. Katalog No: 7A, B, C) çatısında bulmuştur. Altmış metre çapındaki kubbe, ferroçimentodan prefabrike edilip spiral bir desende düzenlenmiş 1.620 adet *tavelloni*, yani eşkenar dörtgen elemandan oluşmaktadır (Bkz. Bölüm 4, Şekil 4.46). Birleşim yerlerinin oluşturduğu kafes

dokusu ile ortaya çıkan estetik hem yapısal olarak rasyonel, hem de görsel olarak son derece etkileyicidir (Bkz. Bölüm 4, Şekil 4.49).

Bu dilin grameri, montaj ilkeleri ve bunun sonucunda ortaya çıkan strüktürel davranış tarafından şekillendirilmiştir. Temel kurallardan biri, binlerce ayrı parçadan inşa edilmesine rağmen, her bir elemandan dışarı taşan donatı demirlerinin yerinde dökme betonla birleştirilmesi yoluyla daima monolitik bir yapıya ulaşılmasıdır. Sistemin bu bütüncül yapısının değeri, bombalanan hangarların enkazında bile birleşim yerlerinin sağlam kalmasıyla kanıtlanmıştır. Dahası, sistemin doğasında var olan modülerlik, en anıtsal projelere dahi insani bir ölçek kazandırmıştır. Her bir prefabrike bloğun boyutu genellikle pratik etkenlerle belirlenmiş ve bu insani boyut, nihai desende okunabilir kalarak, mekanın azameti ile onu inşa eden insanın emeği arasında bir bağ kurmuştur. Bu yaklaşım, Nervi'nin süslemeyi ortadan kaldırmak yerine, onun kaynağını yeniden tanımlamasını sağlamıştır. En rasyonel, verimli ve ekonomik yapısal çözümün aynı zamanda yoğun bir görsel zenginliğe de sahip olabileceğini kanıtlamış, eserlerinde strüktürü süslemenin kendisi haline getirmiştir.

1950'lerin sonlarından itibaren kariyerinin uluslararası bir boyut kazanması, Nervi'nin metodolojisinde önemli bir adaptasyonu zorunlu kılmış ve bu durum, çalışmalarında kritik bir dönüşümü tetiklemiştir. İtalyan şantiyesinin güncel koşullarına sıkı sıkıya bağlı olan bütünleşik "Nervi Sistemi"nin yurtdışındaki projelerde uygulanamayışı, tasarımın üretimden ayrılarak tanınabilir ve ihraç edilebilir bir mimari üsluba dönüşmesi sonucunu doğurmuştur. Formlarını tanımlayan söz dağarcığındaki izostatik kaburgalı döşemeler, eşkenar dörtgen desenli kubbeler ve değişken kesitli kolonlar gibi unsurlardan oluşan "Nervi Üslubu", yerel müteahhitlere bu unsurları uygulamada kendi konvansiyonel inşaat yöntemlerini kullanma imkanı sunmuştur. Ülkesinde aldığı işlerde tüm inşaat sürecini kontrol eden bir müteahhit olan Nervi, yurtdışında yerel mimar ve mühendislerle işbirliği yapan bir tasarım danışmanı olarak konumlanmıştır.

Bu dönüşümün izlerini taşıyan ilk uluslararası proje, Marcel Breuer ve Bernard Zehrfuss ile birlikte tasarladığı, Paris'teki UNESCO Genel Merkezi'dir (Bkz. Katalog No: 6A, B, C). Nervi'nin projeye en belirgin katkısı, trapezoid planlı konferans salonunun ondüle beton çatı ve duvarları ile ana binanın değişken kesitli, zarif taşıyıcı kolonlarında olmuştur (Bkz. Bölüm 4, Şekil 4.39 – 4.42). New

York'taki George Washington Köprü'sünün çıkışına inşa edilen otobüs terminali (Bkz. Katalog No: 12A, B, C) de, Nervi'nin tarzını yansıtan ve bitişiğindeki çelik köprüyle güçlü bir görsel diyalog kuran üçgen betonarme makasların oluşturduğu dramatik bir kompozisyona sahiptir (Bkz. Bölüm 4, Şekil 4.81, 4.82). Nervi bu projede prefabrike çatı bileşenleri kullanmak istemiş, ancak yerel inşaat pratikleri, sendika kuralları ve maliyetler nedeniyle, çatı geleneksel ahşap kalıplar kullanılarak yerinde dökülmüştür. San Francisco'da Pietro Belluschi ile birlikte tasarladığı Meryem Ana Katedrali'nde (Bkz. Katalog No: 15A, B, C) ise Nervi, *tavelloni* tekniğini projeye adapte etme imkanı bulmuş ve çatının karmaşık hiperbolik paraboloid kabuklarını oluşturmak için özel olarak üretilmiş üçgen formunda prefabrike beton elemanlar kullanmıştır (Bkz. Bölüm 4, Şekil 4.102). Nervi'nin biçimsel dilini yaygınlaştıran bu projeler onun bir form ustası olarak ününü pekiştirmiş, ancak aynı zamanda "Nervi Sistemi"ni mümkün kılan bütünleşik tasarım ve inşaat pratiğinin ne kadar özgün ve tekrarlanamaz olduğunu da gözler önüne sermiştir. Buna bağlı olarak yerelden küresele geçişte yaşanan evrimle Nervi, metodolojisini teknik ilerlemelerin yanısıra, uygulamadaki bağlam değişimlerine de doğrudan bir yanıt olacak biçimde geliştirmiştir.

Nervi'nin metodolojik ilkelerinin gerçek gücü, form, strüktür ve inşaat süreçlerinin tam ve ayrılmaz bir bütün olarak ele alınmasıyla ortaya çıkmıştır. Onun en önemli eserlerini tanımlayan bu bütüncül vizyon, Nervi yapılarında işlevsel başarının olduğu kadar, estetik güzelliğin de kaynağı olmuştur. Bu unsurları doğrusal bir sürecin sıralı aşamaları olarak değil, tek ve bütüncül bir yaratıcı eylemin eş zamanlı ve birbirine bağımlı bileşenleri olarak benimseyen Nervi için estetik form bir strüktüre giydirilmiş stilistik bir katman olmadığı gibi, inşaat da yalnızca bu forma hizmet eden pragmatik bir araç değildir. Kendi mesleki pratiğinde mimarlık ve mühendisliği strüktürel bir sanat olarak yeniden birleştiren Nervi, bu sayede nihai estetik formu, altında yatan strüktürel mantığın ve gerçekleştirildiği yapım sürecinin dürüst ve okunabilir bir ifadesine dönüştürmüştür.

Bu anlamda, Nervi'nin eserlerinde formun birincil üreteci strüktürel şemanın kendisidir ve tasarımları, adeta kuvvet akışlarının görsel bir haritası olarak biçimlenmiştir. Bu strüktürel mantık, yapım sürecinin kendi mantığına da eklemlenerek, ikinci bir estetik katman kazanmıştır. Nervi'nin metodolojik ilkeleri ve bütüncül vizyonuna bağlı olarak üslubunu karakterize eden izostatik döşemeler,

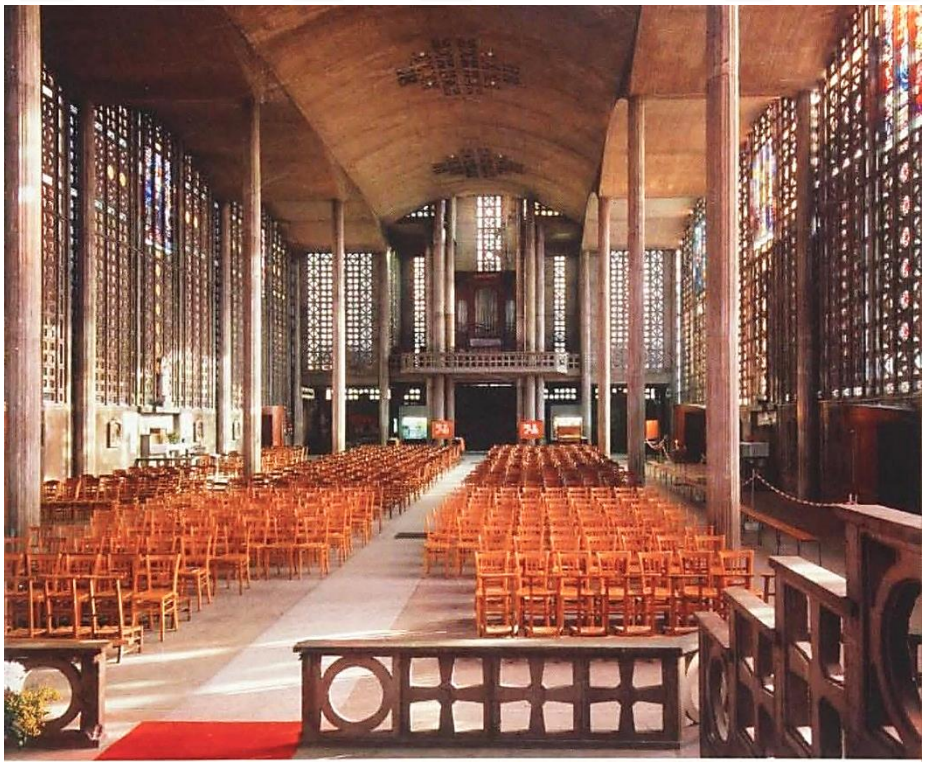
parabolik eğriler ve yivli kabuklar gibi görsel zenginliğe hizmet eden unsurlar hiçbir zaman keyfi estetik seçimler değil, bizzat tasarımın temel işlevsel parçaları olmuştur. Prefabrike elemanların boyut ve biçimleri soyut oran kurallarıyla değil, bir vincin kaldırma kapasitesi ya da işçilerin elle taşıyabilmesi gibi pragmatik kısıtlamalarla belirlenmiştir. İnşa sürecinin bu görünür izleri anıtsal açıklıklara insani bir ölçek kazandırırken, estetik ifadenin de doğrudan belirleyicisi olmuştur. Nihai yapı, strüktürün nerede bitip mimarinin nerede başladığını söylemenin imkansız olduğu, işlevsel bir sanat eseridir.

Mimarlık ve mühendislik arasındaki modern ayrışmaya hem kaleme aldığı yazıları, hem de kendi mesleki pratiğiyle karşı duran Nervi'nin bu bütüncül yaklaşımı, tasarımlarının daha az yaratıcı mühendisler veya tutucu müteahhitler tarafından yorumlanıp tehlikeye atılmasını da önlemiş ve benzeri görülmemiş yapılar tasarlayabilmesi, bir anlamda "onları inşa etmenin benzeri görülmemiş yollarını da icat edebilmesinden" kaynaklanmıştır. Mario Salvadori'nin ifadesiyle, mimarın hayalinin mühendisin analizleriyle değişime uğradığı ve müteahhidin uygulamasıyla daha da zayıflatıldığı tipik 20. yüzyıl işbirliği sürecinin tam bir antitezini oluşturan bu bütüncül pratik, Nervi'yi ikinci bölümde incelenen Gotik ve Rönesans dönemlerindeki gibi, tasarım ve inşaat süreçlerini bütünleştiren geçmişin büyük ustalarıyla aynı çizgiye yerleştirmiştir (Iori, 2009, s. 115). Nitekim eleştirmen Giulio Carlo Argan, kendisi de bu tarihsel damarın bilincinde olan ve mimar, mühendis ve girişimcinin yeteneklerini bünyesinde birleştiren Filippo Brunelleschi gibi figürlere hayranlık duyan Nervi'nin çalışmalarını Brunelleschi'nin Santa Maria del Fiore kubbesi için yaptığı araştırmalarla ilişkilendirmiştir (Iori, 2009, s. 112).

Modern strüktürlerin ifade potansiyelini vurgulamak üzere bir "strüktürel sanat" tanımı yapan David Billington, verimlilik, ekonomi ve zarafet değerlerini temel alan bu yeni sanat dalında Gustave Eiffel ve Robert Maillart gibi mühendisleri öncü olarak göstermiş ve Nervi'yi de bir "strüktür sanatçısı" olarak konumlandırmıştır (Hensel & Menges, 2008, s. 16). Eleştirmen Ernesto N. Rogers da Nervi ve Maillart'ı, sundukları yeni sentezle Rönesans'tan itibaren giderek belirginleşen sanat ve bilim arasındaki ayrımı aşan iki büyük mühendis olarak bir araya getirmiştir (Iori, 2009, s. 113). Her ikisi de kendi tasarım ve inşaat şirketlerini kurmaları sayesinde devrimci fikirlerini taviz vermeden uygulama olanağı bulmuş

ve her ikisi de dönemin mühendislik pratiğinde giderek baskın hale gelen karmaşık matematiksel soyutlamalara karşı, yapının bütüncül davranışının sezgisel ve fiziksel olarak kavranmasına öncelik vermiştir. Maillart'ın betonarme köprülere odaklanan mesleki pratiğine karşılık Nervi, çok çeşitli yapı türlerinde uyguladığı strüktürel prefabrikasyon ile ferroçimento gibi yenilikçi teknikleriyle kendine özgü bir mimari dil geliştirmiştir.

Bu anlamda Nervi'nin yaklaşımı, betonarmenin bir diğer ustası Auguste Perret'den de radikal bir biçimde farklıdır. Betonun plastik doğasını tarihsel formlara sahip bir "yapısal klasisizm" yaratmak için kullanan, formsuz betona sütun, kaide ve başlıklarla form veren Perret'nin aksine Nervi, geleneksel ahşap kalıplara olan ihtiyacı ortadan kaldıran ferroçimento gibi yöntemler icat ederek, "yeni tekniği geçmişin pençesinden kurtarmıştır". Dahası, mimari üslupları tümüyle reddeden Nervi'nin sütun ve kirişleri tarihsel oranlarla değil, statik kuvvetlerin doğal akışıyla biçimlenen monolitlerdir. Perret geleneksel mimarinin sözdizimini modern malzemeyle yeniden yorumlamış (Şekil 5.1), Viollet-le-Duc'ün rasyonalist ilkelerinin izindeki Nervi ise bu malzemeyi tamamen yeni bir sözdizimi icat etmek için kullanmıştır (Bkz. Bölüm 2, Şekil 2.20).



Şekil 5.1 Auguste Perret'nin tasarladığı 1922 tarihli Notre-Dame du Raincy Kilisesi (Addis, 2007, s. 515).

Kabuk yapıların önde gelen isimleri olarak yapısal ifadede dürüst formlara bağlılık ilkesini Nervi ile paylaşan Eduardo Torroja ve Félix Candela da, tasarım tercihleri ve mesleki pratikleri açısından Nervi'den ayrılmaktadır. Çoğunlukla saf bir tasarımcı olarak faaliyet gösteren Torroja, inşa süreçlerinin tasarımları üzerindeki etkisiyle daha az ilgilenmiştir. Ekonomi ve yapım basitliğine daha fazla değer veren Candela ise, bunu temel olarak hiperbolik paraboloidin ustaca kullanımıyla başarmıştır (Şekil 5.2). Dolayısıyla, "form yoluyla mukavemet" arayışında Candela'nın çözümleri öncelikle belirli bir geometrik forma, Nervi'nin çözümleri ise ferroçimentonun özgün nitelikleri ve modüler inşa mantığıyla desteklenen bir strüktür, form ve doku çeşitliliğine sahiptir.



Şekil 5.2 Félix Candela tarafından 1958 yılında tasarlanan Mexico City'deki Los Manantiales Restoranı (Roth & Clark, 2018, s. 56).

Modernist mimarinin temel ilkeleriyle sürekli bir diyalog içerisinde olmasına rağmen, Nervi'nin özgün yaklaşımı hareketin ana akımlarından da önemli ölçüde farklılaşmıştır. Örneğin, strüktürel dürüstlük ilkesini ve strüktürün estetik ifadenin kaynağı olabileceği fikrini paylaşan, bu doğrultudaki tasarımlarında binayı temel gerçekliğine indirgemeyi amaçlayan Mies van der Rohe'nin strüktürel iskelet ile onu saran mekansal zarfın ayrımına dayanan "deri ve kemik" estetiğine karşılık, Nervi'nin yaklaşımı çok daha bütünleşiktir. Özellikle ferroçimento ile yaptığı

kabuk yapılarda, strüktür ve zarf genellikle aynı monolitik unsurdur. Mies van der Rohe'nin ortogonal saflığı (Şekil 5.3) ile kıyaslandığında, Nervi'nin formları kuvvet akışlarının ve inşaat mantığının organik ve genellikle eğrisel bir ifadesidir.

Benzer biçimde, mühendislik formlarının estetik potansiyeline yönelik hayranlığını dile getiren Le Corbusier'nin "beş nokta" gibi kuramsal ve soyut bir çerçeveye dayanan manifestosuyla kıyaslandığında, şantiyenin somut gerçeklerinden doğmuş olan "Nervi Sistemi", pratik sorunlara verilmiş dahiyane yanıtlardan oluşmaktadır. Le Corbusier'nin makine estetiğinden de, Mies van der Rohe'nin soyut saflığından da böylece ayrışan ve estetik ifadesini önceden tasarlanmış bir üslup yerine, inşaatın pratik sorunlarının akıllıca, zarif ve dürüst bir biçimde çözülmesinde bulan Nervi modernizmi, Uluslararası Üslup'un ana akımlarından temel olarak farklılaşan bir "üçüncü yol" sunmaktadır.



Şekil 5.3 Mies van der Rohe tarafından tasarlanan Illinois'deki Farnsworth Evi (Macdonald, 2019, s. 6).

Doğası gereği masif ve plastik olan betonun bu niteliklerini yücelten, yapılarına cam kaplı bir çelik kutunun hafiflik ve maddesizliği yerine, yere sağlam basan, güçlü ve heykelsi bir nitelik kazandıran Nervi'nin bu tercihi, doğrudan onun sezgisel ve uygulamalı tasarım sürecinden kaynaklanmaktadır. Tasarımlarında statik sezginin rolünü ve büyük mimarlık için elzem olduğuna inandığı "insan sıcaklığını" savunan Nervi'nin bu yaklaşımı, bezemeye yönelik tavrında da açıkça

gözlenmektedir. Modernizmin bezemeyi büyük ölçüde dışlamasından sonra bile, kuramsal temelleri Pugin ve Ruskin'in çalışmalarıyla atılmış olan yapısal dürüstlük ilkesine bağlı kalan Nervi'nin binaları, doğrudan strüktürel sisteminin ve inşaat sürecinin bütünleşik mantığından doğan karmaşık desenleri, güçlü ritimleri ve dışavurumcu dokularıyla, içkin bir bezemeye sahip olmuştur (Bkz. Bölüm 2, Şekil 2.18). Roma'daki Küçük Spor Sarayı kubbesinin eşkenar dörtgen spiral deseni (Şekil 5.4), Gatti Yün Fabrikası'nın izostatik zemin döşemeleri, Torino Sergi Sarayı'nın ondüleli tonoz çatısı, strüktürü bezemenin ta kendisi haline getirmiştir.



Şekil 5.4 Küçük Spor Sarayı kubbesinin içeriden görünümü (Bologna, 2013, s. 63).

Nervi, kendi çağdaşlarının eserlerine yönelik belirgin bir eleştirel duruşla, ikinci bölümde antik çağdan modernizme kadar izi sürülen ve güzelliği matematiksel bir mantığa dayandıran geleneğin (Bkz. Bölüm 2, Şekil 2.4 - 2.15) gözardı edildiği, formun strüktürel gerçeklikten kopuk bir şekilde keyfi olarak seçildiği yaklaşımlara şiddetle karşı çıkmıştır. *Casabella-Continuità* dergisi için yazdığı köşe yazılarında Eero Saarinen'in TWA Uçuş Merkezi ve Jørn Utzon'un Sidney Opera Binası (Şekil 5.5) gibi projeleri bu keyfilik nedeniyle eleştiren Nervi, dramatik, heykelsi

şekillerinin yapısal statiğin yasalarıyla açık bir çelişki içinde olduğunu ve ayakta durmalarının çok büyük "hesaplama cambazlıkları" ile malzeme israfı gerektireceğini savunmuştur. Nitekim, strüktürel açıdan uygulanması imkansız bir proje olması nedeniyle mimar Utzon ile mühendislik firması Ove Arup arasında yaşanan sorunların ardından ölçeğin küçültüldüğü Sidney Opera Binası'nın dolambaçlı tasarım tarihi, Nervi'nin sözlerini bir kez daha haklı çıkarmıştır (Neri, 2024, s. 243).



Şekil 5.5 Jørn Utzon'un Sidney Opera Binası
(Macdonald, 2019, s. 231).

Oscar Niemeyer'in Brasilia Katedrali (Şekil 5.6) için yaptığı ve o dönemde henüz kağıt üzerinde olan tasarımlarıyla ilgili olarak Nervi, binanın yol açabileceği kafa karışıklığı, hatta endişe duygularını vurgularken, biçim ve boyutlarının, betonarme özelliklerinin doğal olmayan bir uygulamasına yol açacağını, bunun da maliyet, uzun vadeli bakım ve estetik-algısal karakter açısından bariz yansımaları olacağını savunmuştur (Neri, 2018, s. 48).

Fazlaca gösteriş düşkünü bulduğu Frank Lloyd Wright'ın bir mil yüksekliğindeki gökdelen konseptinde eleştirinin dozunu artıran Nervi, "hayal gücü ve şiirsel icat ile icadın biçimlenmesini sağlayacak tekniğin sert, soğuk gerçekliği" arasındaki çatışmayı çözememiş olmakla eleştirdiği bu projeye muhalefetini makalelerinde ve üniversitede verdiği derslerde sık sık dile getirmiştir (Neri, 2024, s. 244).



Şekil 5.6 Oscar Niemeyer'in Brasilia Katedrali
(Andreas & Flagge, 2013, ss. 94-95).

Modernizm ile eleştirel ve son derece kişisel bir ilişki içerisinde olan Nervi, hareketin temel malzemeleri üzerindeki hakimiyeti ve paylaştığı yapısal dürüstlük hedefine rağmen, tamamen kendisine ait bir yol çizmiş ve bu yol üzerinde ortaya koyduğu özgün strüktürel dışavurumculukla, 20. yüzyılın mimari manzarasında benzersiz ve kalıcı bir iz bırakmıştır. Gereksinimlerin biçimlendirdiği mekansal düzeni en uzun süre kullanımda olmasını sağlayacak malzeme ve strüktürle kuran Nervi, bu anlamda modern mimarinin manifesto niteliğindeki anıtlarının müellifidir.

6
SONUÇ

Pier Luigi Nervi'nin eserlerine yönelik salt teknik veya tarihsel bir değerlendirmenin ötesine geçme hedefiyle yola çıkmış olan bu tez çalışması, tasarım sürecinin entelektüel ve metodolojik temellerini incelemeyi, strüktürel mantık ve matematiksel optimizasyonun teknik birer araç olmanın yanısıra, mimari formun ve estetik niteliğin birincil üreteçleri olarak kullanımını analiz etmeyi amaçlamıştır. Ayrıntılı bir tarihsel-kuramsal inceleme ve seçilmiş 15 projenin sistematik analizi yoluyla Nervi'nin özgün strüktürel ifade ve estetik duyarlılık sentezinin izi sürülerek, sözkonusu sentezin yoğun malzeme araştırmaları, teknolojik yenilikler ve şantiye deneyimiyle şekillendiği ortaya konmuştur.

Endüstri Devrimi'nin ardından ortaya çıkan yeni malzeme (dökme demir, cam, çelik, betonarme) ve yeni yapı türlerinin (tren garları, fuar binaları, stadyumlar, fabrika binaları, katlı binalar) gerektirdiği yeni tasarım ihtiyaçları konusunda Nervi, büyük açıklıkları geçen ekonomik ve kolay üretilebilir strüktürleri mimarinin bir parçası haline getiren yapılarıyla öne çıkmıştır. Tasarımlarında, strüktür mimari biçimin görülebilen bir parçasıdır.

Tez kapsamında yapılan araştırmalar, Nervi'nin dehasının matematik ile estetik, bilim ile sanat ya da ekonomi ile güzellik arasında bir seçim yapmakta değil, en yüksek ifade düzeylerinde bunların bir ve aynı şey olduğunu ortaya koymakta yattığını göstermiştir. Yirminci yüzyıl yapı pratiğinin büyük bir bölümünü tanımlayan temel bir ayrışma olarak mimar ile mühendisin, estetik kavrayış ile strüktürel tasarımın birbirinden kopuşu, Gotik katedrallerin isimsiz zanaatkarlarından Rönesans'ın çok yönlü dehalarına kadar, tarihteki usta yapıcıların bütüncül pratiğinin de terk edilmesi anlamına gelmiş olsa da, Nervi'nin kariyeri, başlangıcından itibaren hayranlık duyduğu ve bu tezin de temelini

oluşturan usta yapıcı idealini somutlaştırmasıyla biçimlenmiştir. Orvieto Hangarları, Torino Sergi Sarayı ve Flaminio Stadyumu gibi projelerde Nervi, aynı anda hem tasarımcı, hem mühendis, hem de müteahhit rollerini üstlenmiş ve "Nervi Sistemi" olarak adlandırılan yaklaşımı, tasarım mantığı ile inşaat pratiğinin mükemmel bir sentezini temsil eden bütüncül bir süreç olarak gelişmiştir. Ancak artan şöhretiyle birlikte gelen uluslararası projelerin gereklilikleri, Nervi'yi kendi ideal pratiğinden ayrılmaya zorlamıştır. Paris'teki UNESCO Genel Merkezi ya da New York'taki Washington Köprüsü Otobüs Terminali gibi büyük ölçekli projelerde yerel mimar ve mühendislerle işbirliğine giden Nervi, uzman bir tasarım danışmanı rolünü üstlenmek zorunda kalmıştır. Bu zorunlu iş bölümü neticesinde, bütünleşik bir yapım yöntemi olan "Nervi Sistemi", taşınabilir bir "Nervi Üslubu"na, yani tanınabilir biçimsel unsurlardan oluşan bir estetiğe dönüşmüştür. İfade gücü yüksek beton formların bu projelerdeki uygulamaları genellikle geleneksel inşaat yöntemleriyle yapılmış, böylece Nervi'nin İtalya'daki en büyük eserlerini tanımlayan form ile imalat arasındaki organik bağ kopmuştur.

Nervi'nin tüm kariyeri boyunca süren bu evrim ve mücadelenin temelinde yatan "doğru inşa etme" felsefesinin ilk dayanağı, yapısal dürüstlüğün getirdiği etik zorunluluktur. Ona göre bir yapının formu, itaat ettiği değişmez fizik yasalarının ve maruz kaldığı kuvvetlerin doğrudan, okunabilir ve dürüst bir ifadesi olmalıdır. Bu ilke, gücünü sahte bir anıtsallıkla yansıtmaya çalışan Faşist mimarinin aldatıcı ve içi boş retoriğine de, heykelsi formlarını yapısal mantıkla çeliştiği için eleştirdiği bazı çağdaşlarının keyfi formalizmine de karşı durmaktadır. Felsefenin ikinci dayanağı, ekonominin getirdiği yaratıcı disiplindir. Kariyeri boyunca ekonomik kısıtlamalar Nervi için bir engel değil, en büyük itici güç ve yaratıcılık kaynağı olmuştur. Nitekim en devrimci yenilikleri olan strüktürel prefabrikasyon ve ferroçimentonun kökeni, doğrudan ekonomik zorunluluklara dayanmaktadır. Nervi'nin yapısal açıdan gereksiz olan her şeyi ortadan kaldıran arıtıcı bir ateş olarak gördüğü ekonomi, tasarımcıyı en doğrudan ve en verimli çözümü bulmaya zorlayan, tüm mimari ifadeyi statik ve inşaatın temel unsurlarında yoğunlaştıran bir güçtür.

Doğru inşa etme felsefesinin üçüncü dayanağı ve estetik zirvesi ise, gerçek mimari güzelliğin peşinden koşulacak bir nitelik değil, doğru çözülmüş bir sorunun kaçınılmaz sonucu olduğu yönündeki inançtır. Endüstri Devrimi sonrasının

yapılarına yönelik olarak ikinci bölümde tanımlanan ve güzelliği verimlilik ve zarafetle birleştiren "strüktürel sanat" anlayışında olduğu gibi, Nervi'nin tasarım felsefesinde de eğer bir yapı, kuvvetlerin ifadesinde etik olarak dürüst ve malzeme ile işçilik kullanımında ekonomik olarak disiplinli ise, tanımı gereği güzel olacaktır. Gatti Yün Fabrikası'nın zemin kat tavanındaki desenler izostatik gerilme hatlarının optimize edilmiş bir diyagramı olmasına rağmen değil, tam da öyle olduğu için güzeldir. Nervi'ye göre güzelliği bağımsız bir hedef olarak aramak, formalizme ve yapmacıklığa yol açan yanlış bir çabadır. Mimari zarafete giden gerçek yol, doğru çözümün alçakgönüllü ve titiz bir şekilde aranmasından geçmektedir; bu yolun sonunda güzellik kendiliğinden ve organik olarak ortaya çıkacaktır.

Nervi'nin bu ilkeler tarafından yönlendirilen mesleki kariyeri, "sürdürülebilirlik" kavramının mimari söylemin merkezine yerleşmesinden on yıllar önce sona ermiş olsa da, külliyatı ve bu külliyatın temelini oluşturan felsefe, malzeme verimliliği ve sorumlu kaynak yönetimi konularında dikkate değer ölçüde öngörülü dersler sunmaktadır. Yaşadığı dönemin zorunluluklarından doğan ve kariyeri boyunca malzeme kullanımını en aza indirmeye yönelik adeta bir takıntı haline gelen yaklaşımı, günümüzün sürdürülebilirlik kaygıları için son derece isabetli bir model olarak durmaktadır. Özellikle form yoluyla mukavemet sağlama anlayışı, daha akılcı ve malzeme açısından tutumlu bir mimarlığa giden yolu işaret etmektedir. Bu felsefeyi pratiğe döken ferroçimento, inceliği ve hafifliğiyle günümüz standartlarına göre bile "sürdürülebilir" bir malzemedir. Geleneksel betonarmeye kıyasla yapının zati yükünü büyük ölçüde azaltmakta ve böylece tüm yapı sistemi boyunca daha hafif destekleyici strüktürlere ve daha küçük temellere olanak tanıyarak, toplam malzeme hacmini azaltan bir etki yaratmaktadır. Dahası, eşdeğer bir mukavemet için önemli ölçüde daha az çelik ve çimento gerektirmesi, doğrudan daha düşük bir gömülü enerjiye ve daha küçük bir karbon ayak izine karşılık gelmektedir.

Öte yandan, günümüz mimarlık ortamı Nervi'nin kariyerinin ancak son demlerinde tanık olmaya başladığı bir teknolojik devrim tarafından tanımlanmaktadır. Güçlü bilişim sistemleri, mimarlara görünüşte sınırsız bir biçimsel özgürlük sağlamıştır. Karmaşık formların bir düğmeye basılarak üretilip analiz edilebildiği bir çağda, Nervi'nin statik sezgiye ve bütüncül bir strüktür anlayışına yaptığı sarsılmaz vurgu, bir anakronizm olarak değil, hayati bir denge unsuru olarak ortaya çıkmaktadır.

Dolayısıyla günümüz pratiğinin karşı karşıya olduğu asıl zorluk, Nervi'nin yaşamı boyunca savunduğu sezgisel, insan merkezli ve malzemeye dayalı tasarım felsefesini zenginleştirmek üzere dijital araçların analitik gücünden yararlanan yeni bir sentez oluşturmaktır.

Karmaşık geometrilerin bir fare tıklamasıyla yaratılabildiği sanal olarak üretilmiş formlar çağında Nervi'nin kariyeri, büyük ve kalıcı mimarinin nihayetinde fiziksel malzemelerin dürüst bir biçimde ve akıllıca kullanılmasına dayandığının bir kanıtıdır. Betona dair derin, sezgisel ve uygulamalı anlayışı, yapısal olarak verimsiz ya da inşası israfa yol açan dijital formların çoğalmasının karşısında çok önemli bir ders niteliğindedir. "Nervi Sistemi" soyut yazılım komutlarıyla değil, yapım kısıtlamalarının ve mevcut olanakların tasarımı en başından itibaren yönlendirdiği uygulamalı, yinelemeli bir diyalogla biçimlendirilmiştir. Nervi'nin fiziksel modelleri gibi bilgisayarlar da doğrulama ve optimizasyon için güçlü araçlardır, ancak Nervi bize hala mimari fikrin ilk kaynağı olarak tasarımcının bütüncül sezgisel zekasını işaret etmektedir.

Nervi metodolojisinin sistematik ve bütünleşik bir analizini sunarak Türkçe literatüre bir katkı sağlamayı amaçlayan bu tez, matematiksel mantığın, estetik ifadenin, malzeme özelliklerinin ve ekonomik kısıtların tümünü tasarım sürecinde bir arada değerlendiren Nervi'nin betonla yazılmış zarif ve etkileyici argümanlardan oluşan eserlerini kavramaya yöneliktir. Salt teknik başarılar ya da sanatsal ifadeler olmanın ötesine geçen bu eserler, "doğru inşa etme" ilkesine dayanan birleşik bir tasarım felsefesinin ürünleridir. Nervi, "yapı yapma sanatı" olarak tanımlanan mimarlığın geleneksel biçimlenme ilkelerini 20. yüzyılın çağdaş ve modern malzemelerine uygulama konusunda döneminin öncüsü olmuştur.

Çalışma, doğası gereği belirli sınırlamalara tabi olmuştur. Nervi'nin tam bir biyografisini yahut inşa edilmiş ve edilmemiş tüm tasarımlarının kapsamlı bir dökümünü sunmayı amaçlamayan bu çalışmanın birincil odağı mühendislik ve mimarlığın tematik kesişimi olarak belirlenmiştir. Öte yandan, Pier Luigi Nervi'nin sıradışı mesleki edimi, gelecekteki araştırmalar için oldukça verimli bir zemin sunmaktadır. Dikkat çekici bir araştırma konusu, Nervi'nin statik sezgi ve fiziksel modellemeye dayalı analog form bulma yöntemleri ile çağdaş dijital parametrik tasarım arasında doğrudan karşılaştırmalı bir çalışma olabilir. Böyle bir çalışma, günümüzün dijital araçlarının Nervi'nin yapısal olarak optimize edilmiş ve

etkileyici form arayışının modern mirasçıları olup olmadığına, ya da fiziksel sezgiden dijital algoritmaya geçişte temel bir unsurun kaybolup kaybolmadığına dair değerli bilgiler sağlayacaktır.

Bu araştırma, Nervi'nin eserlerinin yalnızca hayranlık duyulacak tarihsel birer yapıt olmadığını, bunun yanında mesleki bütünleşme, malzeme sürdürülebilirliği ve insan sezgisi ile teknolojik gücün sentezi üzerine zamana meydan okuyan bir külliyat olarak, günümüz pratiğinin yararlanacağı çok önemli çıkarımlar da içerdiğini savunmaktadır. Nervi'nin sezgi ve deneyime dayalı tasarımlarıyla işleve uygun çözümler üretirken, aynı zamanda dönemin en yeni teknolojik malzemesini en ekonomik koşullarda kullanmak için geliştirdiği yöntemler, günümüzde ve gelecekte de mimari tasarımda gözardı edilmemesi gereken kriterler olarak öne çıkmaktadır.

Çağlar boyunca yapı ediminde malzeme ve teknoloji değişse de, Vitruvius'un yazıya döktüğü *utilitas, firmitas, venustas* kriterleri hiç değişmemiştir. Nitekim Nervi de teknoloji anıtı yapılarında aynı tasarım kriterleriyle hareket etmiştir. Bu anlamda Nervi'nin kalıcı mirası kopyalanacak bir üslup değil, örnek alınacak bütünleşik bir düşünme, tasarlama ve uygulama yöntemidir. Yapılacak daha ileri araştırmalara ışık tutacağı ümidiyle hazırlanan bu çalışma şayet sözkonusu yönteme dikkat çekebilirse, günümüz mimarlık pratiği için de ilham verici olacaktır.

Sonuç olarak; tez kapsamında incelenen 15 yapı birlikte değerlendirildiğinde, bir projenin hem mimarı, hem mühendisi, hem de müteahhidi olduğunda da, çok uluslu iş birlikleri içerisinde salt bir mühendis pozisyonu aldığında da, Pier Luigi Nervi'nin yeni malzemeler ve yenilikçi tekniklerle gerçekleştirdiği tasarımlarının tüm alışılmamışlıklarına rağmen ve istisnasız her seferinde, tarih boyunca tanımlanmış olan estetik ve matematik ilkelerinin yapı üzerinde okunabildiği, özgün eserler ortaya koyduğu görülmektedir.

KAYNAKÇA

Abram, J. (2018). Pier Luigi Nervi - An Aesthetic of Thinking. In P. L. Nervi, C. Chiorino, E. M. Nervi, & T. Leslie (Eds.), *Aesthetics and Technology in Building - The 21st-Century Edition* (ss. 228-249). Urbana: University of Illinois Press.

Addis, B. (2007). *Building: 3000 Years of Design Engineering and Construction.* New York: Phaidon Press.

Andreas, P., & Flagge, I. (Eds.). (2013). *Oscar Niemeyer - Eine Legende der Moderne.* Frankfurt: Deutsches Architekturmuseum.

Argan, G. C., & Robb, N. A. (1946). The Architecture of Brunelleschi and the Origins of Perspective Theory in the Fifteenth Century. *Journal of the Warburg and Courtauld Institutes, 9*, 96-121.

Barney, C. (Ed.). (2013). Awards for Historic Bridges. *Industrial Archaeology News*(165), 17.

Billington, D. P. (1985). *The Tower and the Bridge.* New Jersey: Princeton University Press.

Billington, D. P. (2003). *The Art of Structural Design.* New Jersey: Princeton University Art Museum.

Bologna, A. (2013). *Pier Luigi Nervi ou l'art de la structure.* Lausanne: Presses polytechniques et universitaires romandes.

Bologna, A. (2018). Toward Aesthetics and Technology in Building. In P. L. Nervi, C. Chiorino, E. M. Nervi, & T. Leslie (Eds.), *Aesthetics and Technology in Building - The 21st-Century Edition* (ss. 56-79). Urbana: University of Illinois Press.

Brunes, T. (1967). *The Secrets of Ancient Geometry, Volume I.* Copenhagen: Rhodos International.

Campanelli, A. P. (2014). Restoration of the façade of the Pirelli skyscraper in Milan. *Frontiers of Architectural Research, 3*(2), ss. 213-223.

Celenza, C. S. (1999). Pythagoras in the Renaissance: The Case of Marsilio Ficino. *Renaissance Quarterly,* (Autumn), 667-711.

Chiorino, C. (2010). Eminent Structural Engineer: Pier Luigi Nervi (1891–1979) - Art and Science of Building. *Structural Engineering International, 20*(1), 107-109.

Chiorino, C., & Leslie, T. (2018). Nervi's Aesthetics and Technology in Building. In P. L. Nervi, C. Chiorino, E. M. Nervi, & T. Leslie (Eds.), *Aesthetics and*

Technology in Building - The 21st-Century Edition (ss. 22-34). Urbana: University of Illinois Press.

Chitham, R. (2005). *The Classical Orders of Architecture.* Oxford: Architectural Press.

Ciambella, J., Ranzi, G., & Romeo, F. (2024). The Pier Luigi Nervi's concrete structure of Palazzetto dello Sport: Modeling and dynamic characterization. *Structural Concrete*, 1-13.

Cresciani, M. (2009). Two Hybrid Structures by Pier Luigi Nervi. *Proceedings of the International Association for Shell and Spatial Structures (IASS) Symposium 2009* (ss. 1574-1585). Valencia: Universidad Politecnica de Valencia.

Cresciani, M., & Forth, J. (2014). Three Resilient Megastructures by Pier Luigi Nervi. *International Journal of Architectural Heritage, 8*(1), 49-73.

Elam, K. (2001). *Geometry of Design.* New York: Princeton Architectural Press.

Emmer, M. (2015). Architecture and Mathematics: Soap Bubbles and Soap Films. In K. Williams, & M. J. Ostwald (Eds.), *Architecture and Mathematics from Antiquity to the Future, Volume II* (ss. 449-458). Heidelberg: Springer International.

Falter, H. (2015). The Influence of Mathematics on the Development of Structural Form. In K. Williams, & M. J. Ostwald (Eds.), *Architecture and Mathematics from Antiquity to the Future, Volume I* (ss. 81-93). Heidelberg: Springer International.

Fletcher, R. (2019). Geometric Proportions in Measured Plans of the Pantheon of Rome. *Nexus Network Journal*, 329-345.

Folkmann, M. N. (2023). *Design Aesthetics.* Cambridge: The MIT Press.

Forty, A. (2012). *Concrete and Culture.* London: Reaktion Books.

Gargiani, R., & Bologna, A. (2016). *The Rhetoric of Pier Luigi Nervi.* Lausanne: EPFL Press.

Giedion, S. (1997). *Space, Time and Architecture.* Cambridge: Harvard University Press.

Google Maps. (2025a-o). *[Katalogda yer alan hava fotoğrafları]*. Erişim adresi: https://www.google.com/maps

Hensel, M., & Menges, A. (Eds.). (2008). Form, Force and Structure. *Architectural Design, 78*(2), 12-19.

Hernandez, A. (1969). J.N.L. Durand's Architectural Theory: A Study in the History of Rational Building Design. *Perspecta, 12*, 153-160.

Heyman, J. (1998). *Structural Analysis.* Cambridge: Cambridge University Press.

Heyman, J. (2014). Geometry, Mechanics, and Analysis in Architecture. In A. Gerbino (Ed.), *Geometrical Objects* (ss. 193-201). Heidelberg: Springer International.

Huerta, S. (2006). Structural Design in the Work of Gaudi. *Architectural Science Review, 49*, 324-339.

Huxtable, A. L. (1960). *Pier Luigi Nervi.* New York: George Braziller, Inc.

Ionescu, V. (2016). Architectural Symbolism: Body and Space in Heinrich Wölfflin and Wilhelm Worringer. *Architectural Histories, 4*(1), 1-9.

Iori, T. (2009). *Pier Luigi Nervi.* Milano: Motta Cultura.

Iori, T. (2010). Nervi e le Olimpiadi di Roma 1960. In T. Iori, & S. Poretti (Eds.), *Pier Luigi Nervi: Architettura come Sfida* (ss. 53-67). Milano: Mondadori Electa S.p.A.

Iori, T., & Poretti, S. (2006). Pier Luigi Nervi's Works for the 1960 Rome Olympics. In P. Tournikiotis (Ed.), *The Body, Sport and Modern Architecture* (ss. 291-314). Athens: Futura Publications.

Iori, T., & Poretti, S. (2013). The Nervi System: Between complexity and ethic. In P. J. Cruz (Ed.), *Structures and Architecture. Concepts, Applications and Challenges* (ss. 276-283). London: Taylor & Francis Group.

Iori, T., & Poretti, S. (2013b). Pier Luigi Nervi: His Construction System for Shell and Spatial Structures. *Journal of the International Association for Shell and Spatial Structures, 54*(176 & 177), 117-126.

Iori, T., & Poretti, S. (2015). Conserving Pier Luigi Nervi's Ferroconcrete. *Engineering History and Heritage, 169*(EH1), 22-35.

Iori, T., & Poretti, S. (2022). Italian Modernisms: Structure and Architecture in the Interwar Period. In R. May (Ed.), *Architects and Engineers* (ss. 103-114). Basel: Birkhäuser Verlag GmbH.

Johnson, P. C. (1947). *Mies van der Rohe.* New York: The Museum of Modern Art.

Jones, M. W. (1990). The Tempietto and the Roots of Coincidence. *Architectural History, 33*, 1-28.

Kurrer, K.-E. (2008). *The History of the Theory of Structures.* Berlin: Ernst & Sohn Verlag.

Lefèvre, W. (2021). Architecture on Paper : The Development and Function of Architectural Drawings in the Renaissance. In E. Merrill (Ed.), *Creating Place in Early Modern European Architecture* (ss. 41-70). Amsterdam: Amsterdam University Press.

Leslie, T. (2012, 06 21). *Lanificio Gatti, a happy conclusion.* Retrieved from Architecturefarm: https://architecturefarm.wordpress.com/2012/06/21/lanificio-gatti-a-happy-conclusion/

Leslie, T. (2017). *Beauty's Rigor: Patterns of Production in the Work of Pier Luigi Nervi.* Urbana: University of Illinois Press.

Macdonald, A. J. (2019). *Structure and Architecture.* Oxford: Routledge.

Major, M. (1970). *Pier Luigi Nervi.* Berlin: Henschelverlag.

Mallgrave, H. F. (2005). *Modern Architectural Theory.* New York: Cambridge University Press.

Millon, H. (1958). The Architectural Theory of Francesco di Giorgio. *The Art Bulletin, 40*(3), 257-261.

Neri, G. (2014). *Capolavori in miniatura: Pier Luigi Nervi e la modellazione strutturale.* Mendrisio: Mendrisio Academy Press.

Neri, G. (2018). Pier Luigi Nervi (1891–1979). In P. L. Nervi, C. Chiorino, E. M. Nervi, & T. Leslie (Eds.), *Aesthetics and Technology in Building - The 21st-Century Edition* (ss. 35-55). Urbana: University of Illinois Press.

Neri, G. (2024). *Pier Luigi Nervi - L'arte del costruire.* Milano: Editore Ulrico Hoepli.

Nervi, P. L. (1963). *New Structures.* London: Architectural Press.

Nervi, P. L. (1965). *Aesthetics and Technology in Building.* Massachusetts: Harvard University Press.

Nervi, P. L. (2018). Aesthetics and Technology in Building. In P. L. Nervi, C. Chiorino, E. M. Nervi, & T. Leslie (Eds.), *Aesthetics and Technology in Building - The 21st-Century Edition* (ss. 105-227). Urbana: University of Illinois Press.

Olmo, C. (2010). Allargare la sfida - Le opere in mostra. In T. Iori, & S. Poretti (Eds.), *Pier Luigi Nervi: Architettura come Sfida* (ss. 22-37). Milano: Mondadori Electa S.p.A.

Pevsner, N. (1977). *Pioneers of Modern Design.* Middlesex: Penguin Books.

Picon, A. (1988). Navier and the Introduction of Suspension Bridges in France. *Construction History, 4*, 21-34.

Pugin, A. W. (1836). *Contrasts.* London: James Moyes.

Radelet-deGrave, P. (2018). Pier Luigi Nervi's idea of "vertità delle strutture". In I. Wouters, S. Van de Voorde, & I. Bertels (Eds.), *Building Knowledge, Constructing Histories* (ss. 1097-1103). London: Taylor & Francis Group.

Rogers, E. N., & Joedicke, J. (1957). *The Works of Pier Luigi Nervi.* New York: Frederick A. Praeger Inc.

Rossi, C. (2007). *Architecture and Mathematics in Ancient Egypt.* Cambridge: Cambridge University Press.

Rossi, C. (2024, June). Pier Luigi Nervi (1891–1979). *Architectural Review*, 67-71.

Roth, L. M., & Clark, A. C. (2018). *Understanding Architecture.* New York: Routledge.

Ruskin, J. (1849). *The Seven Lamps of Architecture.* London: Smith, Elder, and Co.

Rybczynski, W. (2022). *The Story of Architecture.* New Haven: Yale University Press.

Saint, A. (2007). *Architect and Engineer.* New Haven: Yale University Press.

Sakowski, E. (2025, 2 26). *Garabit Viaduct*. Retrieved from HighestBridges: https://www.highestbridges.com/wiki/index.php?title=Garabit_Viaduct

Salvadori, M. (1980). *Why Buildings Stand Up.* New York: W. W. Norton & Company.

Sarrazin, O., & Schultze, F. (1900). Der Kaisersteg über die Spree bei Oberschöneweide. *Atlas zur Zeitschrift für Bauwesen, L*, 12.

Schneider, P. (2015). Old Shoes, New Feet, and the Puzzle of the First Square in Ancient Egyptian Architecture. In K. Williams, & M. J. Ostwald (Eds.), *Architecture and Mathematics from Antiquity to the Future, Volume I* (ss. 97-111). Heidelberg: Springer International.

Semper, G. (1879). *Der Stil in den Technischen und Tektonischen Künsten.* München: Friedrich Bruckmann's Verlag.

Thomas, D. (2018). *Masters of the Structural Aesthetic.* Singapore: Springer Nature.

Viollet-le-Duc, E.-E. (1863). *Entretiens sur l'architecture, Tome Premier.* Paris: Morel et Cie.

Viollet-le-Duc, E.-E. (1872). *Entretiens sur l'architecture, Tome Deuxième.* Paris: Morel et Cie.

Vitruvius. (2021). *Mimarlık Üzerine On Kitap.* İstanbul: Şevki Vanlı Mimarlık Vakfı.

Wassell, S. R. (2015). Art and Mathematics Before the Quattrocento. In K. Williams, & M. J. Ostwald (Eds.), *Architecture and Mathematics from Antiquity to the Future, Volume I* (ss. 67-80). Heidelberg: Springer International.

Wikipedia. (2025a-o). *[Katalogda yer alan ülke haritaları]*. Erişim adresi: https://www.wikipedia.org/

Williams, K., & Duvernoy, S. (2014). The Shadow of Euclid on Architecture. *The Mathematical Intelligencer, 36*(1), 37-48.

Wittkower, R. (1965). *Architectural Principles in the Age of Humanism.* New York: Random House, Inc.

Wu, N. Y. (2016). The Hand of the Mind: The Ground Plan of Reims as a Case Study. In N. Y. Wu (Ed.), *Ad Quadratum* (ss. 149-168). Oxford: Routledge.

TEZDEN ÜRETİLMİŞ YAYINLAR

Konferans Bildirisi

1. Horoz K., Urfalıoğlu N. (2025) Yapı Estetiğine Matematik Yaklaşım: Pier Luigi Nervi. *Yıldız Teknik Üniversitesi Mimarlık Tarihi Çalışmaları I Sempozyumu*, 7-8 Mayıs 2025.