

PERFORMANS TEMELLİ TAVAN SİSTEMLERİNİN İÇ MEKAN KURGUSUNDAKİ POTANSİYELİ ÜZERİNE BİR İNCELEME

Hande KARABULUT 

* Özyeğin Üniversitesi, Mimarlık ve Tasarım Fakültesi, İç Mimarlık ve Çevre Tasarımı Bölümü, TÜRKİYE

*Sorumlu Yazar: hande.karabulut@ozyegin.edu.tr

(Geliş/Received: 28.05.2025; Düzeltme/Revised: 24.07.2025; Kabul/Accepted: 04.08.2025)

ÖZ

İç mimarlık alanında tavan düzlemi, çoğunlukla teknik altyapıyı barındıran ya da görsel bütünlüğün sağlanmasına hizmet eden edilgen bir yüzey olarak ele alınmış; mekansal kurgunun biçimlenmesinde etkin bir tasarım bileşeni olarak değerlendirilmesi ise sınırlı kalmıştır. Oysa çağdaş pratikte, performans temelli sistemlerin iç mekan ölçeğinde uygulanması ile birlikte, düzlemler çevresel verilerle etkileşim kuran etken arayüzler haline gelmeye başlamıştır. Bu çalışmanın temel amacı, performans temelli tasarım anlayışıyla biçimlendirilen tavan sistemlerinin, fiziksel çevreyi kontrol etme biçimi üzerinden iç mekanda biçimsel ifade üretimi ve davranışsal örgütlenme potansiyelini incelemektir. Bu kapsamda, performans odaklı tasarım stratejileri doğrultusunda kurgulanmış olan altı proje: The Lowline Lab (ABD), Philips Aydınlatma Atrium (Hollanda), Kunsthaus Graz (Avusturya), Resonant Chamber (ABD), LAVA Axon (Almanya) ve Voxman Müzik Binası – Iowa Konser Salonu (ABD) amaçlı örneklem yöntemi ile analiz birimleri olarak seçilmiştir. Söz konusu projeler, görsel ve teknik dokümantasyon üzerinden incelenmiş ve “Mekansal İfade” (biçimsel temsil, malzeme-doku etkisi, atmosfer kurgulama, uzamsal örgütlenme, bağlamsal etkileşim) ile “Davranışsal Örgütlenme Potansiyeli” (kullanıcı etkileşimi potansiyeli, yönlendirme potansiyeli, odaklama etkisi, kullanım senaryolarına adaptasyon, algısal konfor niteliği) olmak üzere iki eksen altında yapılandırılmış on parametre doğrultusunda analiz edilmiştir. Bulgular, performans temelli yaklaşımla tasarlanan tavan sistemlerinin, fiziksel çevre kontrolü olarak tanımlanan temel işlevlerinin ötesinde; mekanın biçimsel kimliğini şekillendiren, kullanıcı davranışını örgütleyen ve deneyimsel atmosferi kuran çok katmanlı bir tasarım arayüzüne dönüşme potansiyelini ortaya koymaktadır. Araştırma, çevresel, biçimsel ve davranışsal veriler arasında kurulan etkileşim üzerinden iç mekanın nasıl üretken ve dönüştürülebilir bir düzleme taşınabileceğini tartışmaya açmaktadır.

Anahtar Kelimeler: Performans Temelli Tasarım, Fiziksel Çevre Kontrolü, İç Mimarlık, İç Mekan, Tavan Tasarımı

AN INQUIRY INTO THE POTENTIAL OF PERFORMANCE-BASED CEILING SYSTEMS IN SPATIAL CONFIGURATION OF INTERIORS

ABSTRACT

In the field of interior architecture, the ceiling plane has predominantly been conceptualized as a passive surface, primarily serving to conceal technical infrastructure or support visual continuity; while its potential as an active design component in shaping spatial organization has remained limited. In contemporary practice, however, the implementation of performance-based systems at the interior scale has repositioned such planes as responsive interfaces that interact with environmental data. This study aims to investigate how ceiling systems, when shaped through performance-driven design approaches, can generate formal expression and structure behavioral organization within interior environments by mediating the control of physical conditions. Accordingly, six projects developed through performance-based design strategies: The Lowline Lab (USA), Philips Lighting Atrium (Netherlands), Kunsthaus Graz (Austria), Resonant Chamber (USA), LAVA Axon (Germany), and the Voxman Music Building

– Iowa Concert Hall (USA) were selected as research cases via purposive sampling. Each project was analyzed through visual and technical documentation, using a framework structured around ten parameters grouped under two analytical axes: “Spatial Expression” (formal articulation, material–tactile effect, atmospheric staging, spatial organization, contextual interaction) and “Behavioral Organization Potential” (user interaction potential, directional influence, focal emphasis, scenario adaptability, perceptual comfort). Findings reveal that ceiling systems designed through performance-based approaches operate beyond basic functions of environmental control, emerging instead as multilayered design interfaces that shape spatial identity, organize user behavior, and construct experiential atmospheres. The research thus opens up a discussion on how interior space can be conceived as a productive and transformable domain through the interplay of environmental, formal, and behavioral parameters.

Keywords: Performance-Based Design, Physical Environmental Control, Interior Architecture, Interior Space, Ceiling Design

1. GİRİŞ

Mekan tasarımı, biçimin fiziksel olarak inşa edilmesiyle sınırlı bir edim olmaktan çıkarak; çok katmanlı, değişken ve çevresel verilerle sürekli etkileşim halinde olan dinamik bir sistem organizasyonu biçimine evrilmiştir. Bu dönüşüm, özellikle 20. yüzyılın son çeyreğinden itibaren, tasarımın mühendislik bilgisiyle kesiştiği disiplinlerarası bir düzlemde ivme kazanmıştır. Bu bağlamda ortaya çıkan “performans temelli tasarım” (performance-based design), tasarımsal kararların önceden belirlenmiş biçimsel çözümler yerine, yapının işlevsel, çevresel, teknik ve davranışsal performans kriterlerine göre şekillendiği; biçimi bir sonuç olarak değil, çeşitli girdiler arasındaki ilişkilerin ürettiği bir “arayüz” olarak ele alan bir tasarım yaklaşımıdır. Performans temelli tasarım yaklaşımının mimarlık disiplini içindeki karşılıkları büyük ölçüde yapı kabuğu, cephe ve strüktürel sistemler üzerinden tartışılmalıdır; iç mekan ölçeğindeki uygulamaları görece sınırlı kalmıştır. Oysa bu yaklaşımın en rafine biçimde okunabileceği zeminlerden biri, kullanıcıyla çevresel değişkenlerin doğrudan ve süreğen biçimde etkileşime girdiği iç mekanlardır. İç mekanın formasyonunu belirleyen yatay ve düşey düzlemler hiyerarşisi içinde, tavan genellikle; çevresel etkiyi doğrudan kuran bir aktörden ziyade, bu etkinin dolaylı olarak örgütlendiği arka yapısal bir taşıyıcıdır. Oysa, iç mekanın algılanma biçimi üzerinde ciddi bir etkisi olan tavan sistemleri, strüktürel bileşenler olmanın ötesinde; davranışsal, atmosferik ve anlamsal üretimin de taşıyıcısı olma potansiyeli taşır. Bu araştırma, literatürdeki bu boşluğu iç mekan ölçeğinde tartışarak, performans temelli tasarım yaklaşımının bu bakış açısıyla nasıl yeniden

anlamlandırılabilirliğini sorgulamaktadır. Bu makale, performans-temelli yaklaşım doğrultusunda tasarlanmış tavan sistemlerinin, fiziksel çevre kontrol biçimleri üzerinden; mekansal ifade üretimi ve davranışsal örgütlenme potansiyelini incelemektedir. Performans burada, teknik bir yeterlilik olmanın ötesinde; çok boyutlu atmosfer kurma kabiliyeti olarak değerlendirilmiştir. Bu bağlamda araştırma, tavan sistemlerinin strüktürel rolünün ötesinde, algısal ve davranışsal bir üretim düzlemi olarak nasıl işlediğini sorgulamaktadır.

Bu doğrultuda temel araştırma sorusu şudur: Performans temelli tasarım anlayışıyla tasarlanan tavan sistemleri, fiziksel çevreyi kontrol etme biçimi doğrultusunda iç mekanın biçimsel ifadesini ve davranışsal örgütlenmesini nasıl şekillendirir?

Araştırmanın hedefleri şunlardır:

- i. Performans temelli yaklaşımla tasarlanmış tavan sistemlerinin, çevresel parametreler bağlamında mekan üzerindeki etkilerini anlamak,
- ii. Bu sistemlerin mekansal organizasyon ve kullanıcı ile ilişkileri nasıl kurgulayabileceğini analiz etmek,
- iii. Tavanın fiziksel, davranışsal ve anlamsal düzlemlerde performatif bir bileşen olarak nasıl konumlandığını tartışmak.

Araştırmanın analiz birimleri, performans temelli tasarım yaklaşımıyla tavan düzleminde yapılandırılmış altı projedir: The Lowline Lab (ABD), Philips Aydınlatma Atrium (Hollanda), Kunsthau Graz (Avusturya), Resonant Chamber (ABD), LAVA Axon (Almanya) ve Voxman Müzik Binası – Iowa Konser Salonu (ABD). Söz konusu projeler, amaçlı örneklem

yöntemiyle, iç mekanda tavan düzleminin performatif sistem olarak kurgulandığı, görsel-teknik dokümantasyonu erişilebilir olan projeler arasından belirlenmiştir. Her proje, öncelikle bağlam, işlev, tasarım süreci ve biçimsel özellikler temelinde tekil olarak analiz edilmiş; ardından, araştırmanın kuramsal çerçevesi doğrultusunda belirlenen iki temel analitik eksen etrafında değerlendirilmiştir: “Mekansal İfade” ve “Davranışsal Örgütlenme Potansiyeli”. Bu iki eksen, performans-temelli tavan sistemlerinin mekansal biçimlenmeye ve kullanıcı davranışına etkilerini niteliksel olarak değerlendirebilmek amacıyla yapılandırılmıştır. Bu doğrultuda, Mekansal İfade eksenini altında; biçimsel temsil, malzeme-doku etkisi, atmosfer kurgulama, uzamsal örgütlenme ve bağlamsal etkileşim parametreleri; Davranışsal Örgütlenme Potansiyeli eksenini altında ise; kullanıcı etkileşimi potansiyeli, yönlendirme potansiyeli, odaklama etkisi, kullanım senaryolarına adaptasyon ve algısal konfor niteliği parametreleri tanımlanmıştır. Bu parametreler doğrultusunda geliştirilen analiz çerçevesi, performans-temelli tavan sistemlerinin teknik boyutunun yanı sıra mekansal ve davranışsal potansiyelini de görünür kılmayı amaçlamaktadır.

Makalenin devamında, öncelikle literatürdeki performans kavramı ve temelli tasarım yaklaşımları ele alınmaktadır. Ardından, analiz edilen örnek projeler tekil ve ardından bütüncül bir çerçevede incelenmekte; elde edilen bulgular üzerinden, performans temelli kurguların çeşitli parametreler üzerinden açılımları yapılmakta ve değerlendirilmektedir. Sonuç bölümünde ise, bu bulgular doğrultusunda performans temelli tasarımın, iç mimarlık pratiğinde nasıl dönüştürücü bir strateji olarak değerlendirilebileceğine ilişkin öngörüler yer almaktadır.

2. LİTERATÜR TARAMASI

“Performans” sözcüğü, Türk Dil Kurumu tarafından “herhangi bir eseri, oyunu, işi vb.ni ortaya koyarken gösterilen başarı” biçiminde tanımlanır (TDK, 2025). Mimarlık söyleminde ise bu kavram, bir yapının çevresel, işlevsel ya da yapısal yeterliliklerini belirleyen ve ölçülebilir çıktılarla ifade edilen bir nitelik olarak yer edinmiştir. Performans kavramını sonuç üzerinden değil, sistemin işlemesine katkı sunan parametreler üzerinden okuyan bu yaklaşım, kavramı çeşitli uzmanlık alanlarıyla

kesiştirmiştir. Bu çerçevede, yapısal performans, enerji verimliliği, akustik konfor gibi alt başlıklar etrafında kavramsal olarak dallanmış; özellikle 1970’li yıllardan itibaren gelişen “**performans temelli tasarım**” yaklaşımıyla birlikte, mimarlık pratiğinde belirleyici bir stratejiye dönüşmüştür.

Bu yaklaşımın erken ve etkili yansımalarından biri, Nicholas Negroponte’in (1970) ortaya koyduğu Architectural Machine modelidir. Negroponte, bilgisayarların sadece çizim veya modelleme aracı olmaktan öteye geçerek, tasarımcıyla etkileşim kurabilen, öğrenebilen ve adaptasyon gösterebilen “mimarlık makineleri” olması gerektiğini savunur. Negroponte’a göre bir tasarım süreci, üretim, değerlendirme ve adaptasyon olmak üzere üç temel işlevin sürekli bir etkileşimiyle işler.

- **Üretim:** Bilgisayarlar yalnızca çizim üreten araçlar değil, tasarım verisi oluşturabilen ve fiziksel çevreyi modelleyebilen sistemler olmalıdır.
- **Değerlendirme:** Tasarım kararları yalnızca mekansal biçime değil, kullanıcı davranışı ve bağlam içinde ortaya çıkan işleyişe göre değerlendirilmelidir.
- **Adaptasyon:** Tasarım süreci, geri bildirimlerle gelişen bir döngüdür. Makine, tasarımcıdan ve kullanıcıdan öğrenerek kendi yöntemlerini iyileştirmelidir. (Negroponte, 1970).

Bu düşünce biçimi, mimarlıkta “performans” kavramını daha geniş bir çerçeveye taşımış, sistemin kendi kendini gözlemleyerek dönüştürme becerisiyle iç içe geçmiş dinamik bir yetkinlik üzerinden açılımlamıştır. Negroponte (1970)’in modeli döneminin teknolojik imkanlarıyla sınırlı kalsa da, performans-temelli tasarım paradigmasının teorik altyapısını inşa etmiş; günümüzde sensörler, yapay zeka, algoritmik tasarım yaklaşımlarına zemin hazırlamıştır (Shi, 2010). Negroponte (1970)’in *kendi kendini uyarlayabilen*, kullanıcıyla etkileşim içinde “öğrenen” tasarım makineleri fikri, Kalay’ın (1999) daha geniş kuramsal çerçevesinde yeniden tanımlanır. Yehuda Kalay (1999), performans-temelli tasarımı mimarlıkta sistemli ve uygulanabilir bir yöntem olarak tanımlar. Kalay (1999)’a göre bir tasarımın başarısı; ölçülebilir kriterler temel alınarak değerlendirilmelidir. Bu çerçevede bilgisayar,

tasarım sürecinde alternatifleri analiz eden ve performansa göre karşılaştırmalar yapabilen bir karar destek sistemi olarak konumlanır. Kalay(1999)'ın modelinde simülasyonlar ve veri analizleri tasarım sürecine entegre edilir; böylece tasarımın nedeni ile sonucu arasında nedensel bir ilişki kurulur. Negroponte (1970)'nin sezgisel ve etkileşim temelli yaklaşımının aksine, Kalay (1999) bilgisayarı yaratıcı bir ortaktan ziyade, analitik bir değerlendirici olarak konumlandırır. Bu doğrusal ve karar odaklı sistem, Rivka Oxman'ın (2008) katkısıyla üretimsel bir paradigma değişimine uğrar. Oxman(2008), performans-temelli tasarımı geleneksel anlamda tasarım-sonrası bir değerlendirme süreci olmaktan çıkarır; onu biçimin doğrudan çevresel, yapısal ve programatik veriler aracılığıyla üretildiği üretken bir sistem olarak yeniden tanımlar. Bu modelde performans, formu sonradan test eden bir mekanizma olarak görülmez, formun oluşumuna eşzamanlı katılan kurucu bir etkidir. "Form-finding" olarak adlandırdığı bu süreçte, algoritmik sistemler, dijital simülasyonlar ve parametrik ilişkiler aracılığıyla performans, biçimsel varyasyonların üretiminde doğrudan yönlendirici rol üstlenir. Kalay (1999)'ın sistemsel rasyonelliğiyle karşılaştırıldığında Oxman(2008)'in yaklaşımı, dijital araçları tasarımın üretken bileşeni haline getirir. Hensel (2010) ise performans kavramını biyolojik sistemlerden ilham alan, çevresiyle çok katmanlı ilişkiler kuran ve dört temel etken üzerinden çalışan dinamik bir süreç olarak tanımlar: kullanıcı (subject), çevre (environment), mekansal organizasyon (spatial organisation) ve malzeme organizasyonu (material organisation). Bu dört etkenin sürekli etkileşim içinde olduğu bu modelde, mimarlık nesne üretiminin ötesinde, çevresel koşullara tepki veren ve bu koşulları dönüştürebilen "aktif bir ajan" olarak yeniden konumlanır. Negroponte'nin sezgisel etkileşimciliği ile başlayan, Kalay'ın sistematik karar mantığıyla rasyonelleştirilen ve Oxman'ın dijital üretkenliğiyle biçimsel olarak genişleyen "performans" kavramı, Hensel'in çok katmanlı ve ekolojik ilişkiler ağı içerisinde nihai bir davranışsal sistem olarak yeniden kurgulanır. Bu düşünsel süreklilik, performansın mimari tasarımın merkezine yerleşerek form, süreç ve çevre arasındaki ilişkileri epistemolojik düzeyde dönüştürdüğüne açık bir göstergesidir. Peki, performans kavramı üzerine

bu epistemolojik dönüşüm biçimsel üretimin (formasyonu) ontolojik düzlemde nasıl dönüştürür?

Performans temelli tasarımda biçim arama (form-finding) yöntemleri, mimari biçimin önceden belirlenmiş estetik tercihler yerine performans ölçütlerine doğrudan yanıt olarak ortaya çıktığı tasarım süreçlerini ifade eder (Oxman, 2008). Bu yaklaşım, mimarın öznel biçimsel kararlarıyla yönlendirdiği geleneksel "biçim verme" (form-making) paradigmasının aksine, biçimin yapısal, çevresel, malzeme temelli ya da mekansal performans kriterlerine göre türetildiği bir üretim modelidir (Hensel, 2010).

Bu bağlamda, Öklid-dışı geometriler ve topolojik modelleme, biçimsel üretimi temsil ve simgesellikten kurtararak davranışsal (performatif) tasarıma yönlendirir. Geometri artık sabit bir ifade olmayan, veriyle şekillenen, çevresel ve işlevsel girdilere duyarlı bir ortam haline gelir (Oxman, 2008; Kolarevic & Malkawi, 2005). Bu dönüşüm, özellikle parametrik modelleme araçları sayesinde mümkün olur. Parametrik tasarım, geometrik bir modelin bileşenleri arasındaki ilişkileri (bağımlılıkları) tanımlayan bir sistemdir; bu ilişkiler matematiksel ya da kural tabanlı parametrelerle tanımlanır. Yani bir elemanın boyutu, konumu ya da eğriliği gibi özellikleri bir değişkene bağlandığında, bu değişken üzerinde yapılan bir değişiklik, modele bağlı tüm bileşenlerde otomatik olarak yankılanır.

Bu parametrik sistemler, varyasyon üretmenin yanı sıra, performans analizlerine tepki veren biçimsel dönüşümleri de mümkün kılar. Örneğin, güneş ışığına maruz kalma oranı yüksek olan bir cephe, analiz verisine göre otomatik olarak gölgeleme elemanlarıyla yeniden şekillendirilebilir. Grasshopper ya da Generative Components gibi platformlar, tasarımcıya bu tür tepkisel sistemler kurma imkânı sunar (Kolarevic & Malkawi, 2005).

Literatürde, performans temelli tasarım yaklaşımları ile tasarlanan kurgular üzerine çeşitli bulgular sunulmuştur: Gagne & Andersen (2010), enerji tüketimi, gün ışığı düzeyi ve maliyet gibi performans kriterlerini parametrik modelleme ve genetik algoritmalarla birlikte ele alarak; simülasyon destekli bir tasarım süreciyle iç mekan konforunu artıran cephe varyasyonları geliştirmiştir. Bu araştırma, performans

ölçütlerinin biçim üretimini yönlendirme potansiyelini vurgular. Gerber ve ark. (2017), kullanıcı tercihlerini ve çevresel verileri erken tasarım sürecine entegre eden çok etmenli bir sistem aracılığıyla, geleneksel yaklaşımlara kıyasla daha enerji verimli ve kullanıcı odaklı çözümler sunmuştur. Böylece, estetik ve performansın birlikte ele alınabileceği hibrit bir tasarım metodolojisi önermiştir. Badino ve ark. (2020), performansa dayalı tasarımın özellikle akustik performans özelinde uygulanabilirliğini irdelerken, erken aşama geri bildirimlerinin tasarım kalitesini yükselttiğini; fakat bilgi eksiklikleri ve yazılım araçlarının sınırlılıklarının uygulamayı kısıtladığını belirtmiştir. Peters ve ark. (2010), akustik performansı hem tasarım belirleyicisi hem de mekansal deneyimi biçimlendiren bir unsur olarak konumlandırmış; dijital araçlarla oluşturulan akustik alan gradyanlarının, biçim ve performansın eşzamanlı tasarlanmasını mümkün kıldığını göstermiştir. Spaeth ve ark. (2011), akustik parametrelerle biçim üretimini eşleştiren evrimsel bir algoritma geliştirerek, kaynak-alıcı ilişkilerinden türeyen yeni formlar üretmiştir. Ancak, simülasyonun sınırlılığı nedeniyle elde edilen farklılıkların biçimsel değil, daha çok malzeme düzeyinde gerçekleştiği belirtilmiştir. Bu çalışmaların odağına bakıldığında, performans temelli verilerin, özellikle enerji tüketimi, gün ışığı, akustik kalite ve kullanıcı tercihleri gibi ölçütlerin tasarım sürecinin erken aşamalarında hesaplamalı yöntemlerle entegre edilmesi ve bu entegrasyonun biçimsel kararları yönlendirme kapasitesi öne çıkmaktadır.

Literatür taraması göstermiştir ki, performans-temelli tasarım yaklaşımları, çevresel verilerin doğrudan etkileyebileceği yüzeylere, özellikle bina kabuğu, cephe sistemleri ve üst örtü bileşenlerine odaklanma eğilimindedir. Bu eğilim, söz konusu yüzeylerin güneş ışıınımı, ısı transferi, doğal havalandırma ve enerji verimliliği gibi ölçülebilir ve simüle edilebilir parametrelerle ilişkilendirilebilmesini mümkün kılmasıyla açıklanabilir. Böylece, tasarımın biçimsel ve işlevsel kararları, hesaplanabilir verilerin yönlendirmesiyle büyük ölçüde bu dışsal bileşenler üzerinden kurgulanmaktadır. Bu çerçevede, genelde bu parametrelerin, akustik, gün ışığı, havalandırma ve diğer tesisat sistemlerinin, taşıyıcısı olarak konumlanan iç mekan tavan düzlemi, çevresel verilerin iç mekanda dağılım biçimini doğrudan etkileyen,

kullanıcı deneyimini yönlendiren ve performans-temelli tasarımın iç mekana dair kuramsal açılımlarının irdelendiği bir arayüz olmuş olsa da, söz konusu çalışmalar, biçim ile performans arasında çift yönlü bir ilişki kurarak, tasarımın çok-etmenli, veri destekli süreçlere evrilmesini savunurken; geliştirdikleri kurguların fiziksel çevreyi kontrol etme biçimleri aracılığıyla mekansal deneyimi yönlendirme potansiyelini henüz mimari düşünceye bütünlüklü biçimde dahil edememiştir.

Oysaki, Negroponte (1970)'den Hensel(2010)'e uzanan düşünsel çizgide performans, nicel çıktılar üzerinden değerlendirilen bir sonuç olmaktan öte; çevresel verilerle etkileşim kuran, kullanıcı deneyimini dönüştüren ve biçimsel karar süreçlerini yönlendiren dinamik bir tasarım ilkesi olarak kapsamını genişletmiştir. Bu çerçevede, performans temelli tasarım yaklaşımı doğrultusunda tasarlanmış iç mekan tavan kurgularının fiziksel çevre kontrolü için bir performans üreticisi olmasının yanı sıra, mekansal deneyimi kuran bir araç olarak konumlandırılması, mimari tasarımda halen yeterince araştırılmamış bir alanı işaret eder. Mevcut literatür, performans-temelli yaklaşımların iç mekan bağlamında biçimsel kararları niceliksel veriler aracılığıyla yönlendirme kapasitesini kabul etmekte; ancak bu biçimlerin iç mekanda yarattığı algısal, davranışsal ve bağlamsal etkileri yüzeysel düzeyde ele almaktadır.

Bahsedilen tartışmalar üzerinden, şu varsayımlarda bulunulur: Performans kavramı, mimari bileşenleri çevresel koşulları optimize eden araçlar olmanın ötesinde, mekanın anlamını, karakterini ve kullanıcı üzerindeki etkisini biçimlendiren dinamik aktörler olarak görmeye imkan tanır.

Bu nedenle, şöyle varsayılır: Performans-temelli yaklaşımla ele alındığında, mimari bileşenler özellikle çoğu zaman edilgen bir yüzey olarak betimlenen tavan düzlemleri; mekanın kimliksel sürekliliğini kuran, davranışsal yönelimleri örgütleyen ve algısal deneyimi derinleştiren aktif bileşenlere dönüşebilir. Bu araştırmanın temel hipotezi bu noktada somutlaşır: Tavan düzlemleri, performans-temelli tasarım anlayışıyla biçimlendirildiğinde, fiziksel çevre kontrolü aracı olmanın ötesine geçerek, mekanın kimliksel ifadesini biçimlendiren ve davranışsal

yönelimleri örgütleyen aktif mimari bileşenler haline gelir.

3. MATERYAL VE YÖNTEM

Araştırma kapsamında evren, performans temelli tasarım ilkeleri doğrultusunda geliştirilmiş mimari kabuk, çatı, cephe ve iç mekan sistemlerini kapsayan projeler bütünüdür. Ancak araştırmanın odağı doğrultusunda, araştırma evreni, iç mekan ölçeğinde temsiliyeti olan; tavan yüzeyini aydınlatma ve/veya akustik ve/veya havalandırma gibi çevresel değişkenlere aktif biçimde müdahale eden bir sistem olarak kurgulayan projelerle sınırlandırılmıştır. Araştırma evreni bu ölçütlerle belirlendikten sonra, amaçlı örnekleme yöntemi kullanılarak altı proje araştırma nesnesi olarak belirlenmiştir: The Lowline Lab (ABD), Philips Aydınlatma Atrium (Hollanda), Kunsthau Graz (Avusturya), Resonant Chamber (ABD), LAVA Axon (Almanya), ve Voxman Music Binası- Iowa Konser Salonu (ABD). Bu projeler, görsel, çizim, teknik rapor, fotoğraf gibi verileri sağlayacak şekilde iyi belgelenmiş ve kamusal olarak erişilebilir kaynaklara sahip olmaları nedeniyle seçilmiştir.

Analizin ilk aşamasında, her bir proje, görsel ve teknik belgeleri aracılığıyla okunmuş ve mekansal sistematığı çözümlenmek üzere veri setine dahil edilmiştir. Analizin ikinci adımı, seçilen altı proje üzerinden tavan sistemlerinin mekansal ve davranışsal potansiyellerini çözümlemeye odaklanmaktadır. Literatürde performans-temelli tasarım yaklaşımları büyük ölçüde yapının enerji verimliliği, akustik kalite, gün ışığı düzeyi, ısı transferi ya da yapısal dayanıklılık gibi nicel ve simüle edilebilir çıktılar üzerinden şekillenmektedir (Badino ve ark., 2020; Gagne ve Andersen, 2010; Gerber ve ark., 2017; Peters ve ark., 2010; Spaeth ve ark., 2011). Oysa bu araştırma, performans kavramını yalnızca teknik çıktılar üzerinden ele almanın ötesinde; kullanıcı deneyimi, algısal derinlik ve mekansal anlam üretimi üzerinden değerlendiren niteliksel bir analiz çerçevesi önermektedir.

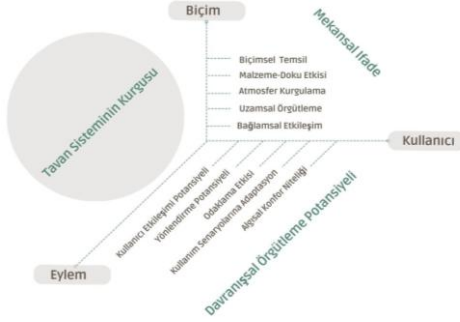
Bu nedenle, araştırmada literatürde sıklıkla yer bulan nicel parametrelerin (örneğin: ışık yoğunluğu düzeyi, ses seviyesi vb.) yerine; aynı fenomenlerin iç mekanda nasıl bir mekansal ifade biçimine dönüştüğünü ve kullanıcıyla kurduğu davranışsal örgütlenme ilişkilerini anlamaya yönelik nitel parametreler

geliştirilmiştir. Bu parametreler iki ana kategori altında toplam 10 başlıkta yapılandırılmıştır:

1. **Mekansal İfade:** Bu kategori, tavan sistemlerinin mekana kazandırdığı estetik, atmosferik ve biçimsel etkileri anlamaya odaklanır. Mekanın görsel karakteri, malzeme ilişkileri ve bağlamsal uyumu gibi unsurlar üzerinden, tavan düzleminin iç mekandaki algılanma biçimini çözümler.
 - Biçimsel Temsil (algılanan form-dayalı kimlik),
 - Malzeme-Doku Etkisi (duyusal uyaranlar ve malzeme karakteri),
 - Atmosfer Kurgulama (duygulanımsal ortam üretimi),
 - Uzamsal Örgütlenme (mekanı bölme ve yönlendirme biçimleri),
 - Bağlamsal Etkileşim (çevresel ve mimari bağlamla kurulan ilişki).
2. **Davranışsal Örgütlenme Potansiyeli:** Bu kategori, tavan sistemlerinin kullanıcı davranışı üzerindeki yönlendirici, etkileşim kurucu ve konfor sağlayıcı etki üretme potansiyelini analiz etmeye yöneliktir. Tavanın kullanıcı eylemlerini nasıl teşvik ettiği, mekanın nasıl okunmasını sağladığı ve farklı kullanım senaryolarına nasıl adapte olduğu gibi davranışsal örüntülere odaklanır.
 - Kullanıcı Etkileşimi Potansiyeli (etkileşim teşviki),
 - Yönlendirme Potansiyeli (hareketin davranışsal biçimlenişine etki),
 - Odaklama Etkisi (görsel yönelim ve dikkat kurgusu),
 - Kullanım Senaryolarına Adaptasyon (kullanıcı-temelli esneklik ve dönüştürülebilirlik),
 - Algısal Konfor Niteliği (kullanıcının çevreyi algılama konforu).

Bu çerçevede geliştirilen şema da bu yaklaşımı görselleştirmek amacıyla yapılandırılmıştır (Şekil 1). Şemada "Tavan Sisteminin Kurgusu" özgün ve etki-üreten bir nesne olarak konumlanmakta; bu nesne, biçim-kullanıcı-eylem üçgeninde ortaya çıkan etkileşimlerle farklı hallere bürünmektedir. Bu yapılandırma sayesinde, tavan fiziksel bir yüzey olmanın ötesinde, davranış ve algı üretme kapasitesine sahip dinamik bir düzenleyici olarak

okunmaktadır. Araştırma, bu özgün nesnenin mekansal ve davranışsal etkilerini çok katmanlı olarak anlamaya çalışmakta ve grafik bu kuramsal yapıyı kavramsal düzeyde temsil etmektedir.



Şekil 1. Biçim-Kullanıcı-Eylem Ekseninde Tavan Sisteminin Etki Üreten Nesne Olarak Konumlanması (Yazar tarafından oluşturulmuştur).

Bu doğrultuda, araştırmanın ikinci adımında geliştirilen nitel analiz çerçevesi, her bir projenin tavan sistemini mekansal ifade ve davranışsal örgütlenme potansiyeli başlıkları altında değerlendirmektedir. Böylece, tavan sisteminin yapısal bir unsur olmanın ötesinde, iç mekanın atmosferini, işlevselliğini ve algısal niteliğini belirleyen aktif bir bileşen olarak nasıl işlediği ortaya konmaktadır.

4. BULGULAR VE DEĞERLENDİRME

Bu bölümde, her bir tavan sistemi, öncelikle tekil olarak, bağlamı, işlevi, tasarım süreci ve biçimsel özellikleri çerçevesinde incelenmiş; ardından, önceki bölümde tanımlanan iki ana parametre grubu ve ilgili alt parametreler doğrultusunda bir değerlendirme sürecine tabi tutulmuştur; parametreler üzerinden ortak eğilimler, farklılaşmalar ve potansiyel tasarım biçimleri tartışmaya açılmıştır. Böylece, performans-temelli yaklaşımların tavan düzlemi üzerinden iç mekan deneyimini nasıl dönüştürdüğüne dair çok katmanlı bir bakış sunulmuştur.

4.1. Tavan Kurguları Üzerine İnceleme

4.1.1. The Lowline Lab

Raad Studio tarafından tasarlanan ve 2015 yılında inşa süreci tamamlanan “The Lowline Lab” projesi, New York’ta Manhattan’ın Aşağı Doğu Yakası semtinde yer alan terk edilmiş bir yer altı tramvay terminalini, içerisinde ağaçlar, bitkiler, oturma birimleri ve sanat eserlerinin sergilendiği alanların bulunduğu yaklaşık 4000metrekarelik halka açık bir parka

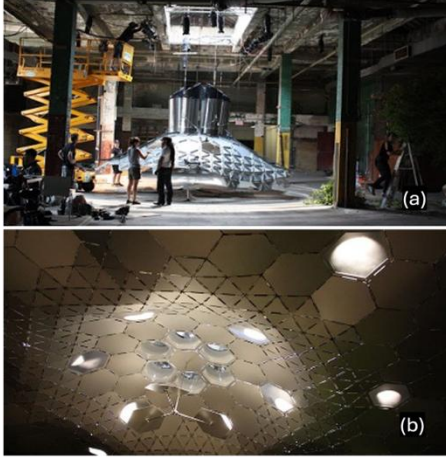
dönüştürmeyi amaçlayan “The Lowline” projesinin prototipi olarak, önerilen alandan birkaç blok ötede bulunan bir yer altı mekanında kurgulanmıştır (Şekil 2). Prototipin amacı, güneş ışığını yer altı ortamının iç mekanına iletmek için nihai projede kullanılması planlanan tasarım yönteminin nasıl sonuç vereceğine dair bir fikir edinmektir (URL 1).

Yer altı mekanı için oldukça önemli olan güneş ışığının mekan içerisine alınabilmesi amacıyla, tasarım ekibinde yer alan eski NASA mühendisi James Ramsey tarafından tasarlanan fiber optik heliotüpler kullanılmıştır. Bu sayede, yer üstünde bulunan kollektörler gün boyunca en iyi güneş açısına göre pozisyonunu ayarlamakta ve parabolik çanaklar aracılığıyla güneş ışığını etkin bir şekilde iç mekana yönlendirmektedir.



Şekil 2. The Lowline Lab projesine ait yer üstünde bulunan güneş kollektörleri [a], iç mekandaki tavan paneli [b], zemin düzlemi-bitkilendirme-tavan paneli ilişkisi [c] (URL 1).

Yer altı mekanında, modüler altıgen birimlerden oluşan akışkan metalik bir tavan kurgusu bulunmaktadır. Tüplerin her biri, ışığı metal gölgelik üzerine yönlendiren ve onu bitki örtüsü üzerinde eşit olarak dağıtan asılı aynalar tarafından yansıtılan çeşitli noktalardan geçer ve bu sayede, altıgen ve üçgen modüllerden oluşan asma tavan yapısı, doğal ışığı yayan geniş bir yansıtıcı panel görevi görür (Şekil 3).



Şekil 3. Tavan panelinin montajı [a], Panel üzerinde yer alan ışık yansıtıcı yüzeyler [b] (URL 2)

Modüler tavan paneli, şeffaf anotlanmış alüminyumdan lazerle kesilmiş ve bir hidrolik preste bükülmüş, 600 1/8 inç kalınlığında altıgen ve üçgen panellerden oluşan bir sistemdir. Güneş ışığının iç mekandaki yayılımını en üst düzeye çıkarmak için, modüller arasındaki birleşim bölgelerindeki eğim birime özel tasarlanmıştır dolayısıyla hiçbir panel birbirinin aynısı değildir. Tasarım ekibi, her bir panelin şeklini ve boyutunu doğru şekilde elde etmek için çeşitli malzeme ve ışık testleri üzerinde çalışarak ideal formu elde etmek üzere çalışmıştır (URL 1).

Modüller, her iki tarafta katlanır tırnaklarla birbirine vidalanarak birbirine monte edilir. Modüllerin birleşiminden elde edilen panel, dört kablolu bir kafes sistemine bağlanır, böylece 1.350 kiloluk birimin tamamı bakım için kolayca kaldırılıp indirilebilir. The Lowline Lab, 70'in üzerinde bitki türü ve toplamda doğal güneş ışığı ve yapay takviyelerin kombinasyonu ile çalışan 3.000'den fazla bitkiyi içermektedir. Prototipe dair verilerin 2 yıl süre ile toplanmasının ardından 26 Şubat 2017'de halka kapatılmıştır (URL 3).

Projede, tavan paneli hem iç mekanda bir tavan tasarım ögesi, hem bir aydınlatma birimidir. Ayrıca modüler geometrisi sayesinde, ışığın homojen yayılımını sağlamaktadır. Bu teknoloji, iç mekanda yer alan bitkiler için fotosentezi desteklemek amacıyla gerekli olan doğal ışığı sağlayarak bitkilerin ve ağaçların büyümesini destekler. Ayrıca, güneş ışığı mevcut olduğunda, yer altı mekânını aydınlatmak için elektriğe gerek duyulmaması

açısından, iç mekana sürdürülebilir bir nitelik kazandırır.

4.1.2. Philips Aydınlatma Genel Merkezi Atrium Projesi

Amsterdam'ın Eindhoven kentinde bulunan Philips Aydınlatma Genel Merkezi, aslen 1950'lerde merkezi bir avlu etrafında organize edilmiş birkaç ayrı binadan oluşan bir kompleks olarak inşa edilmiştir. Binalar arasında kalan avlu mekânı, bir dizi çatı penceresi içeren yaklaşık 11 metre yüksekliğinde geniş bir tavanla kaplı olarak bir süre kullanılmıştır. Fakat mekânın kullanımı sırasında karşılaşılan düşük ses kalitesi ve aydınlatma ile ilgili çatı pencerelerinden gelen direkt ışığın rahatsız edici etkisi gibi problemler doğrultusunda avlu için yeni bir projeye ihtiyaç duyulmuştur. Güncel avlu projesi, LAVA tasarım ofisi tarafından tasarlanmış ve 2016 yılında inşa sürecinin tamamlanmasının ardından kullanılmaya başlamıştır (URL 4). Atrium, çalışanlar için disiplinlerarası işbirliği kültürünü teşvik etmek için hem çeşitli etkinliklerin hem de toplantıların gerçekleştirileceği bir ortak alan olarak tasarlanmıştır (Şekil 4).

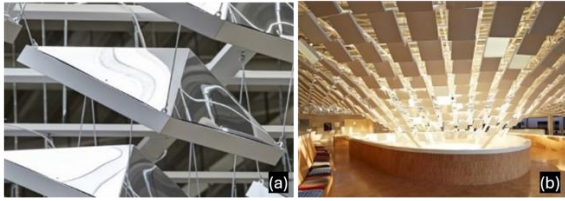


Şekil 4. Tavan kurgusunun iç mekandaki genel görüntüsü (URL 4).

Atrium; parametrik olarak tasarlanmış 1500 adet özdeş "yaprak" içeren, "etkileşimli bir ışık ağacı" olarak tanımlanan tavan modülleri ile kurgulanmıştır. Tasarım konsepti, ağaçların arasından süzülen "altın ışık" olarak belirlenmiş ve tasarımda "ışık" ögesi bilgilendirici (gün içerisinde zamandan haberdar eder); görsellik (ışık süzmeleri iç mekanda tiyatral bir etki yaratır); etkinleştirme (ışık etkisi çalışanlar için motive edicidir) özellikleri ile mekana sembolik bir anlam kazandırmıştır (URL 5).

Tasarımcılar, projeyi "basit öğelerden oluşan karmaşık bir geometri" olarak tanımlamaktadır. Her bir dörtgen modül üzerinde yer alan, ışık yayan paneller, hem akustik absorpsiyonu

sağlayarak avlu içerisinde kontrollü bir ses yayılımı sağlamakta; hem de çatıdan gelen doğal ışığın iç mekana kontrollü bir şekilde alınmasını sağlamaktadır. Ayrıca, modüller üzerinde led panel aydınlatmalar yer almaktadır. Güneş ışığı miktarına göre, doğal ışığa ilave olarak yapay ışık desteği gerektiğinde, modüller üzerindeki led aydınlatmalar devreye girmektedir (URL 5). Yapay aydınlatma kontrol sistemi, yapay ışığın sıcaklığını ve parlaklığını, doğal bir etki verebilmek için sürekli bir değişim süreci içerisinde, yıl boyunca gün ışığı koşullarına göre optimize eder (Şekil 5).

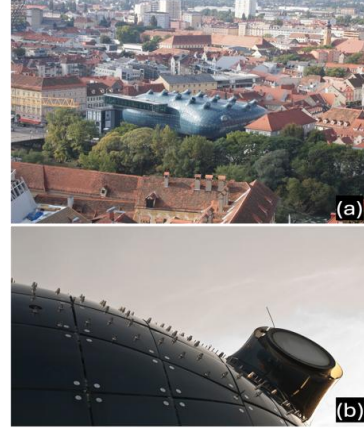


Şekil 5. Modül üzerindeki piramidal reflektörler [a] Mekan içerisindeki değişken ışık etkileri [b] (URL 4)

Her bir modülün arkasına sabitlenmiş piramidal metal reflektörler, ışığın bir kısmını bitişik panellerin yüzlerine geri yansıtarak, güneş ışığının ağaç tepelerinden süzülme şeklini veya su üzerinde yansıma etkisini veren parlıtlı vurgular yaratmaktadır. Tavan kurgusu, yıl boyunca farklı mevsimlere, günün saatlerine ve atrium alanının mimari düzenine yanıt vererek, mekana hem sembolik, hem de fiziksel anlam kazandırmaktadır. Işık, iç mekanda bir hacim yaratma, var olan hacmi anlamlı kılma aracı haline gelmiştir.

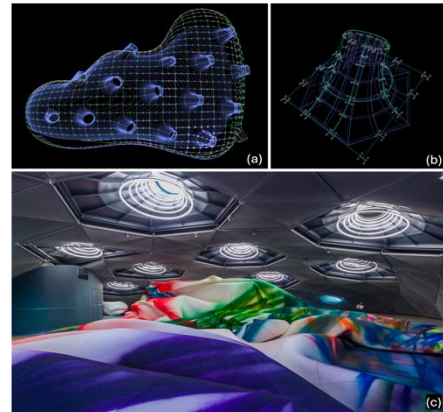
4.1.3. Kunsthaus Graz

Peter Cook ve Colin Fournier tarafından tasarlanan ve 2003 yılında tamamlanan Kunsthaus Graz, Avusturya'nın Graz kentinde, Mur Nehri kıyısında konumlanan ikonik bir çağdaş sanat müzesidir. "Friendly Alien" (Dost Uzaylı) olarak adlandırılan yapı, tarihî dokuya bilinçli bir biçimde tezat oluşturan biyomorfik formuyla, 2003 Avrupa Kültür Başkenti etkinliklerinin simgesel yapılarından biri olarak öne çıkmıştır (URL 6). Proje, özellikle 1960'lar ve 70'lerin spekülative mimarlık deneyimlerinden, özellikle Archigram'ın "Instant City" önerisinden ilham almış; kente adeta gökyüzünden "inmiş" bir kültürel yapı olarak kurgulanmıştır (Şekil 6).



Şekil 6. Kunsthaus Graz Yapısı [a] Cephe Karakteri ve Işık Bacası [b] (URL 7).

Yapının yaklaşık 11.100 m²'lik toplam inşaat alanı içinde, 2.500 m²'lik esnek sergi mekanı, kamusal alanlar, lojistik alanlar ve teknik birimler bulunmaktadır. Yapının taşıyıcı sisteminde çelik kirişler ve üç boyutlu düğüm bağlantı elemanları kullanılmış; serbest eğrisel yüzeyin altında çelik kabuk konstrüksiyon, yüksek doğrulukta lazer kesimli çelik borularla oluşturulmuştur. Dış kabuk 1.066 adet farklı geometrilere sahip akrilik camdan oluşur ve her biri parametrik modelleme yazılımlarıyla bireysel olarak tasarlanmıştır (URL 6). Yapının tavan düzlemi, ışıkla kurduğu ilişkiler üzerinden mekana yön ve karakter kazandıran bir sistem olarak kurgulanmıştır (Şekil 7).



Şekil 7. Işık Bacası Modüllerinin 3 boyutlu Modeli [a] [b], İç mekanda tavan düzlemi temsili [c] (URL 6)

Bu bağlamda, yapının en dikkat çekici öğelerinden biri olan "ışık nodülleri" (light nozzles), yapının dalgalı kabuğunu delen ve kuzeye doğru yönlendirilmiş biyomorfik açıklıklardır. Bu nodüller, doğal gün ışığını kontrollü biçimde iç mekana taşımak amacıyla konumlandırılmış ve her biri farklı

yönelimlerde biçimlendirilmiştir. Nodüllerin kuzeye dönük açılı yapısı, doğrudan güneş ışığını değil, dağınık ve homojen bir aydınlatmayı mekana iletme amacı güder. Bu sayede sergileme alanlarında gölgelenme ya da aşırı parlaklık gibi sorunlar minimize edilirken, gün ışığının değişken karakteri iç mekan deneyimini zaman içinde dönüştürebilir hale gelir.

Bazı nodüller, yapay aydınlatma elemanlarıyla entegre edilerek, gün ışığının yetersiz kaldığı durumlarda da mekansal bütünlüğü sürdürecektir ışık kalitesinin sağlanmasına olanak tanır. Bu çift yönlü sistem sayesinde, ışığın mekan içindeki davranışını yönlendiren aktif bir bileşen olarak karşımıza çıkar.

4.1.4. Resonant Chamber

Resonant Chamber, sensörler veya önceden programlanmış konfigürasyonlar kullanılarak gerçek zamanlı olarak toplanan bir dizi girdiye dayalı olarak kurulduğu ses ortamını dinamik olarak değiştirebilen, origami mantığı ile tasarlanmış bir modüler akustik kontrol sistemidir (Şekil 8). Farklı mekansal ihtiyaçlara göre konfigüre edilebilen modüller, bir müzik mekanına yerleştirilebilmekte veya akustik performanslarını belirli gereksinimlere göre kalibre etme ihtiyacı duyulan herhangi bir mekan için kurgulanabilmektedir (URL 8).

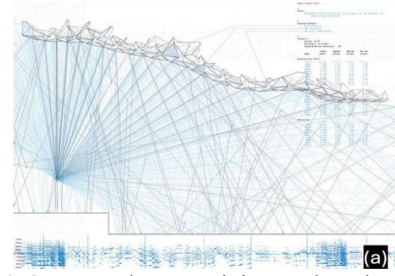


Şekil 8. Modüler akustik sistem (URL 8).

Her bir modül, ses yansıtıcı, ses emici veya elektroakustik özelliklere sahip üçgen kontrplak panellerin bir kombinasyonundan oluşmakta ve devre kontrollerini içeren bir elektronik panel etrafında şekillenmektedir. Malzemelerin optimal geometrisi, akustik simülasyonlar ve fiziksel prototipler üzerinde yapılan ölçümlerle belirlenmiştir. Modüller, ortamdaki değişen ses

düzeyine ve modülün mekan içerisindeki gürültü kaynağına olan uzaklığındaki değişikliklere yanıt olarak konfigürasyonunu dinamik olarak dönüştürebilme yeteneğine sahiptir (URL 8). Projeyi geliştirme aşamasında, modüllerin geometrisi Rhinoceros 4.0'da ve Grasshopper'daki eklentisinde modellenmiş ve köşeler ile uygulanan kuvvetler arasındaki fiziksel etkiyi simüle etmek için Kangaroo programına eklenmiştir (Şekil 9).

Simülasyonlar; yankılanma süresi, absorpsiyon katsayısı ve erken/geç akustik tepki gibi girdilere dayalı olarak; modüllerin optimum akustik gereklilikler doğrultusunda nasıl şekilleneceği üzerine incelemeler yapmayı sağlamıştır. Tavan kurgusu, modüllerin tavan üzerindeki ray sisteminde serbest bir şekilde hareket ettirilebilmesi sonucu modüllerin farklı bir araya getiriliş şekilleri ile akustik ihtiyaçlar doğrultusunda tekil ya da bütüncül olarak kurgulanabilir.



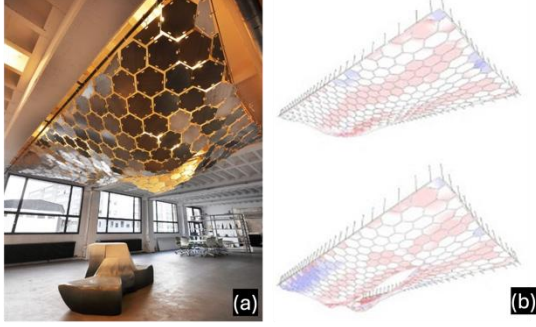
Şekil 9. Tavan kurgusu için yapılan akustik simülasyon (URL 9).

Resonant Chamber sistemi, iç mekanda sabit olmayan, değişken ve kullanıcıya yanıt veren bir akustik atmosfer yaratma kapasitesiyle öne çıkar. Tavan düzlemi boyunca konumlanan modüllerin hareketli yapısı, ses performansını optimize etmekle beraber; aynı zamanda mekanın algılanış biçimini dönüştürerek kullanıcıyla etkileşim kuran dinamik bir yüzey haline gelir. Bu durum, mekanın akustik niteliğini donuk bir altyapıdan çıkarıp davranışsal geri bildirim veren aktif bir bileşene dönüştürür. Özellikle çok işlevli performans alanlarında, sahne kompozisyonuna veya izleyici yoğunluğuna göre yeniden yapılandırılabilen bu sistem, tavanın iç mekanda bir aygıt gibi çalışmasına olanak tanır.

4.1.5. Lava Axon

The Laboratory for Visionary Architecture (LAVA) ekibinin, mühendislik ortakları Bollinger & Grohmann ile birlikte, 2015 yılında Stuttgart'ta bulunan ofislerinde düzenlemiş oldukları çalıştayda, öğrenciler ve

profesyoneller tarafından geliştirilen bir proje olan Axon, çeşitli fonksiyonel ihtiyaçlara göre mekanın akustik performansını değiştirebilen bir tavan panelidir(URL 10). Proje, LAVA'nın Stuttgart ofisinin açık planlı ortak kullanım mekanı olan zemin katında kurgulanmıştır (Şekil 10).



Şekil 10. Tavan kurgusunun iç mekandaki görünüşü, Tavan Kurgusuna ait Hareket Diyagramı ve Modüller (URL 11).

Bu mekanın; derslere, toplantılara, partilere ve diğer çeşitli işlevlere ev sahipliği yapabilecek potansiyelde kullanılabilmesi hedeflenmiştir. Ayrıca ofis mutfak ve maket atölyesi de aynı açık planlı mekanda yer almaktadır. Ancak; mevcut mekan kullanımında, geniş beton duvarlar ile kaplı, dar ve uzun geometriye sahip alanın, uzun yankılanma sürelerine neden olduğu ve bu durumun da açık planlı mekan içerisinde sesin ve konuşmanın duyulabilirliğini azalttığı görülmüştür. Dolayısıyla mekanın farklı işlevler için kullanımları noktasında da akustik açıdan problemler ortaya çıkmıştır.

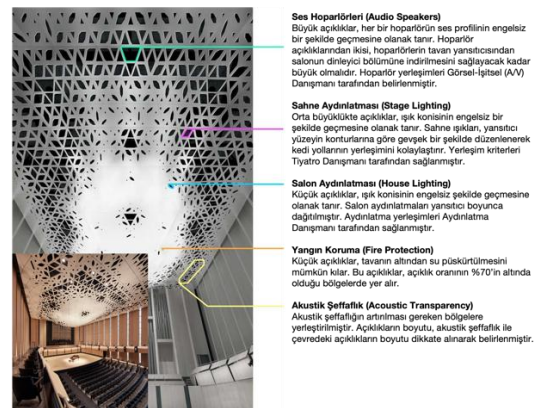
Farklı işlevler için mekan kullanımı senaryolarında farklı akustik niteliklere ihtiyaç duyulması üzerine, kontrollü açılara sahip yansıtıcı yüzeyler kullanarak yankı süresini kısaltmanın konuşmacının işitilebilirliğini iyileştirebileceği fikri, projenin çıkış noktası olmuştur. Bu durumda tasarım, hareket özgürlüğü sağlayan eklemlere sahip altıgen alüminyum modüllerden oluşan bir tavan paneli olarak kurgulanmıştır. Modüllerin birleşim noktaları, toplam altı servo tarafından çekilebilen bir tel sistemi tarafından kontrol edilerek hareket ettirilebilmektedir. Servo sayısı mümkün olduğu kadar düşük tutularak kontrolü ve bakımı kolay bir kinetik sistem oluşturmak amaçlanmıştır. Akustik yalıtım malzemesi, metal panelin alt tarafında, tavan yüzeyinde kullanılmıştır. Panel açıldığında içeri giren ses dalgaları sıkışarak ve tavan içinde sıçrayarak

yavaş yavaş emilir. Daha fazla yansıma gerektiğinde tavan kapatılabilir (URL-10). Tasarımda akustik simülasyon aracı kullanılarak farklı mekansal kullanım senaryolarına yönelik hesaplamalar yapılmış ve modüllerin formu da bu doğrultuda şekillendirilmiştir .

Proje, iç mekanda kinetik kurguların; açık plana sahip, birden çok işlevin gerçekleştiği mekanlarda fiziksel niteliklerini kontrol edebilme ve iyileştirebilme olanakları sunmaktadır. Tasarımcılar, akustik uzmanları ve mühendislerin tasarımın erken aşamalarından itibaren disiplinlerarası çalışmasının getirisi olarak, hem işlevsel ve yapısal gereksinimlerin bir sonucu olan, hem de tasarım açısından ve zarif bir kavisli geometri ile mekanda bir tasarım ögesi haline gelen bir tavan kurgusu ortaya çıkmıştır.

4.1.6. Voxman Müzik Binası – Iowa Konser Salonu

LMN Architects ve Neumann Monson Architects tarafından ABD'nin Iowa şehrinde 2016 yılında kurgulanan 700 kişilik Iowa konser salonu, Voxman Müzik Binası içerisinde yer almaktadır. Performans temelli tasarım yaklaşımı ile kurgulanan Iowa Üniversitesi Konser salonunun tavan tasarımı, 946 adet katlanmış alüminyum kompozit modülün birleşiminden oluşan, bir kısmı parabolik bir form ile tavandan sarkan bir yapıya sahiptir (Şekil 11) (URL 13).



Şekil 11. Iowa konser salonu iç mekanı ve Tavan tasarımına entegre edilen sistemler (URL 13).

Tavan kurgusu, teknik ve estetik açıdan mekan gereksinimlerini bütünlük bir çözüm ile karşılamaktadır. Akustik, sahne aydınlatması, ana aydınlatma, görsel-ışitsel tasarım ve yangından korunma olmak üzere beş teknik

sistemi içerisinde barındırır. Tavan tasarımına dair form bulma süreci, Grasshopper'da geliştirilen ve ilgili farklı disiplinlerin danışmanları tarafından tanımlanan hedefler ışığında optimize edilen bir parametrik model ile sağlanmıştır (URL 12).

Voxman Music Building'in konser salonu tavanı, akustik performansı mimari kimliğin ayrılmaz bir parçasına dönüştüren yenilikçi bir uygulama sunar. Bu tasarımda, sesin hareketi ve dağılımı, izleyici deneyimini aktif olarak şekillendiren bir araç haline gelirken, tavanın dalgalı geometrisi mekansal algıyı dinamikleştirir ve estetik derinlik katar. Böylece Voxman konser salonu, tavanın akustik işleve ek olarak görsel ve atmosferik anlam katmanları üreterek, iç mekan

deneyimini zenginleştirme potansiyelini ortaya koymaktadır.

4.2. Tavan Kurguları Üzerine Çözümlemeler

Analizin ikinci adımında, tavan sistemlerinin mekansal ve davranışsal potansiyellerinin daha derinlemesine çözümlemesi yapılmıştır. Bu çalışma kapsamında incelenen altı mimari yapının analizinden elde edilen bulgular göstermektedir ki, performans-temelli yaklaşımla tasarlanan tavanlar, çevresel verileri yöneten teknik yüzeyler olmanın ötesinde; mekanın davranışsal ve algısal örgütlenmesini kuran aktif bileşenler olarak işlemektedir.

10 parametre üzerinden yapılan değerlendirmeler, bu yüzeylerin biçimsel temsilden senaryo üretimine kadar uzanan geniş bir performans spektrumuna sahip olduğunu ortaya koymuştur (Tablo 1).

Parametreler	Projeler	The Lowlane Lab/ RAAD Studio yer alı mekanı	Philips Aydınlatma- Atrium / LAVA ofis yapısı	Kunsthhaus Graz/ Peter Cook ve Colin Fournier müze	Resonant Chamber / RVTR performans alanı	Axon / LAVA açık planlı mekan	Iowa Konser Salonu / LMN Architects konser salonu
Mekansal İfade	Biçimsel Temsil	Karma modül diziliminin ürettiği kabuk, çevre mekan yüzeylerinden yüzey geometrisi ve hareket potansiyeli açısından ayrışır.	Yaprak formulu tavan örgüsü, çevre yüzeylerle formel olarak dil birliği kurar; genel hacim kurgusuyla bütünleşir.	İçbükey ve katmanlı yapıya sahip tavan düzlemi, çevre bileşenleri oluşturan bir zar gibi davranır.	Akustik paneller, tavana monte edilmiştir. Çevre yüzeylerle dil birliği kurmaz.	Kinetik altıgen tavan modülleri, çevredeki sabit yüzeylerle malzeme ve hareket potansiyeli açısından ayrışır.	Parabolik modüllerden oluşan tavan yapısı, çevre yüzeylerden malzeme ve yüzey geometrisi açısından ayrışır.
	Malzeme-Doku Etkisi	Yansıtıcı alüminyum paneller, soğuk bir atmosfer kurar.	Opak yaprak modüller, yumuşak gölgelene ve sıcak doku efekti yaratır.	Panel yüzeylerin mat ve soğuk dokusu, mekânla fiziksel temas değil görsel mesafeyi teşvik eder.	Kontrplak yüzey, dokunsal ve akustik emici karakter yaratır.	Metal paneller, ışıkla dinamizm üreten sert yüzeyler kurgular.	Alüminyum kompozit paneller, genel mekan ambiyansından ayrırsan soğuk bir etki yaratır.
	Atmosfer Kurgulama	Güneş ışığını süzerek aydınlatma ve bitki büyümesi koşulu sağlar.	Doğal ışığı dengeli dağıtarak gün içerisinde konforlu bir ortam kurar.	Işık bacasından süzülen ışık, sergi alanında gölgesiz ve dengeli bir uzam yaratır.	Modül açılımları değiştirilerek yankıyı düşüren çok işlevli bir hacim sunar.	Ses düzeyine göre form değiştiren modüllerle akustik kontrol sağlar.	Işık yansımaları ve dengeli ses dağılımıyla dengeli bir konser atmosferi üretir.
	Uzamsal Örgütme	Çokgen panel sistemi, ışık akışına dayalı büyüme sınır kurmaktan çok geçirgenliği kodlar.	Merkezi avluyu geçiren biçimde örter; ışık ritmiyle odak alanlarını biçimlendirir.	Eğrisel formu ve homojen ışık dağılımıyla mekanda çok merkezli bir biçimlenme kurar.	Akustik gereksinimlere göre örgütlenmesi değişken bir yüzey kurgular.	Akustik gereksinimlere göre örgütlenmesi değişken bir yüzey kurgular.	Tavanın akustik geometriye göre şekillenmesi, mekânın yönelimi ve sahne odaklı örgütlenmesini sabitler.
	Bağlamsal Etkileşim	Yer üstü bağlamı ile yerin altı arasında faydacı bir ilişki kurar.	Yerel iklimin gün ışığı koşullarıyla insan sirkadiyen ritmini bağlamın ayrılmaz parçası olarak ele alır.	Dış kabuğun parametrik mantığını içeri taşıyarak yapının biçimsel sürekliliğini kurar.	Sistem bağlamdan bağımsızdır. Taşınabilirliği ve tekrarlanabilirliği yüksektir.	Bağlamı olan ofis iç mekanda akustik ihtiyaçlara yanıt verir.	Bağlamına tam entegre bir sistemdir. Mimari kabukla bütünleşmiştir; bağlam içi teknik ihtiyaçlara maksimum yanıt verir.
Davranışsal Örgütme Potansiyeli	Kullanıcı Etkileşimi Potansiyeli	Etkileşim sınırlıdır; kullanıcı girdisi sistemi etkilemez.	Etkileşim sınırlıdır; kullanıcı girdisi sistemi etkilemez.	Etkileşim sınırlıdır; kullanıcı girdisi sistemi etkilemez.	Kullanıcının ürettiği gürültü, akustik modüllerin formunu gerçek zamanlı değiştirir.	Etkileşim sınırlıdır; kullanıcı girdisi sistemi etkilemez.	Etkileşim sınırlıdır; kullanıcı girdisi sistemi etkilemez.
	Yönlendirme Potansiyeli	Dolaşım rotalarını ışığın izini süren sezgisel bir hat üzerinden tanımlar.	Tavanın ışık akışı, girişten merkeze yönelen bir sirkadiyon omurgası oluşturur.	Tavan panellerinin yerleşimi ve ışık oyunları, mekanda lineer bir rota sunmaz; serbest dolaşım kurgusuna yönlendirir.	Akustik modüller, mekansal yoğunlukları değiştirilerek kullanıcı akışını yeniden kurar.	Modül hareketlerinin ürettiği yükseklik farkları, mekanda akışı sezgiselce yönlendirir.	Etki potansiyeli sınırlıdır.
	Odaklama Etkisi	Işık kaynakları ve bitkilendirme, kullanıcı bakışını odak noktasına toplar.	Işık süzmeleri, mekanda geçici ama güçlü odaklar üretir.	Açılan tavan, sahneden gökyüzüne uzanan dikey bir odak kurar.	Akustik gereksinimler, dikkat odağını mekanda sürekli yeniden tanımlar.	Ses ile tavan biçimleniş, mekanda dinamik bir odak geometrisi oluşturur.	Tavan formu, sesi sahneye ve izleyiciye eşit biçimde yönlendirerek işitsel odak sağlar.
	Kullanım Senaryolarının Adaptasyon	Alternatif kullanım senaryolarına imkan verme potansiyeli sınırlıdır.	Alternatif kullanım senaryolarına imkan verme potansiyeli sınırlıdır.	Alternatif kullanım senaryolarına imkan verme potansiyeli sınırlıdır.	Akustik modüller, farklı işlevler için yeniden konumlandırılabilir.	Kinetik yapı, toplantı etkinlikleri gibi senaryolar arasında hızla geçiş yapılabilir.	Yalnızca konser senaryosuna optimize edilmiştir; dönüşümlülük sağlamaz.
Algısal Konfor Niteliği		Fotosentetik ortam, dinginlik ve doğallık hissi verir.	Ritmik modül tekrarı dengeli ışık geçişleri algısal süreklilik sağlar.	Işığın kontrollü yayılımı, ziyaretçinin gözünü yormadan sergi mekânında vakit geçirebilmesini sağlar.	Form değişkenliği, görsel dikkat ve mekansal farkındalık üretir.	Form değişkenliği, görsel dikkat ve mekansal farkındalık üretir.	Çoklu sistem entegrasyonu, gerçek zamanlı konfor sunar.

Tablo 1. Tavan kurgularının çok yönlü değerlendirmesi (Yazar tarafından oluşturulmuştur).

Mekansal İfade kategorisi, tavan sistemlerinin iç mekana kazandırdığı estetik, atmosferik ve biçimsel etkileri anlamaya yönelik parametreleri kapsamaktadır. Bu bağlamda ele alınan Biçimsel Temsil, tavanın algılanan mekansal kimliği nasıl kurduğunu ortaya koymaktadır. Örneğin The Lowline Lab projesi, ışığı taşıyan modüler yapısıyla biçimsel olarak çevre yüzeylerden ayrışır. Kunsthaus Graz'da ise eğrisel yüzeylerin yönsüz akışı, merkezi bir odak yerine sezgisel yönelimler oluşturur ve bu da formun dolaşımı yönlendirme kapasitesini artırır. Tüm bu örneklerde dikkat çeken ortak bir unsur, tavan düzlemlerinin çevre yüzeylerden gerek malzeme gerekse geometrik karakter açısından bilinçli bir biçimde ayrıştırılmasıdır. Özellikle Axon ve Resonant Chamber gibi projelerde, tavan sistemleri sabit duvar düzlemlerinden farklı olarak kinetik ya da modüler bir yapı sergiler; böylece mekan içinde kendi morfolojik dilini kurar ve çevresel yüzeylerle bir kontrast ilişkisi geliştirir. Malzeme-Doku Etkisi, tavan yüzeylerinin hem görsel, hem de işitsel algıyı yönlendirme üzerindeki etkisini gösterir. Resonant Chamber'da, doğal ahşap gibi malzemelerin kullanımı, ses dalgalarını emip yönlendirerek akustik dengeyi kurar. Buradaki malzeme, akustik yutuculuk sağlar. Uzamsal Örgütlenme üzerinden değerlendirildiğinde ise, Kunsthaus Graz ve Axon örnekleri, sabit sınırları reddederek çok merkezli, sezgisel bir dolaşım deneyimi üretir. Bağlamsal Etkileşim parametresi kapsamında ise Lowline Lab, yer üstü ve yer altı arasındaki ışık aktarımı yoluyla çevresel verileri mekan organizasyonuna katarken; bir diğer yandan, Kunsthaus Graz, dış mekandan ışık alıp iç mekana ileten ışık bacalarıyla çevresel bağlamla güçlü bir etkileşim kurar.

Davranışsal Örgütlenme Potansiyeli ise, tavan sistemlerinin kullanıcı davranışı üzerindeki yönlendirici, etkileşim kurucu ve konfor sağlayıcı etkilerini değerlendirmeye odaklanır. Bu çerçevede Kullanıcı Etkileşimi Potansiyeli, sistemin kullanıcıdan gelen uyarılara yanıt verme biçimiyle tanımlanır. Resonant Chamber bu anlamda oldukça iyi bir örnektir; ses düzeyine göre yeniden biçimlenen modüller, kullanıcıyı mekansal değişimin doğrudan bir aktörüne dönüştürür. Axon ise daha sezgisel bir ilişki kurar; modül hareketi aracılığıyla

yönelimi önerir ama dayatmaz. Bu durum, Yönlendirme Potansiyelinin tekil görsel göstergeler olmanın ötesinde, yüzey geometrisi ve ritimle de inşa edilebileceğini ifade eder. Mesela, Philips Atrium'da ışığın mekana değişken yönelimli süzülmesi, dikkat odağı oluşturarak kullanıcıyı edilgen biçimde yönlendirir. Bu tür odakların davranışsal etkisi, Odaklama Etkisi başlığıyla değerlendirilir. Voxman'da tavanın içbükey formu sesin eşit dağılımını sağlayarak işitsel odak üretirken; Philips Atrium'da ışık kırınimleri görsel odaklar yaratmakta, odaklama mekansal anlamın geçici yeniden tarifleriyle gerçekleşmektedir. Kullanım Senaryolarına Adaptasyon açısından Axon ve Resonant Chamber, modüler ve hareketli sistemleri sayesinde farklı etkinlik türlerine hızlı geçiş yapılabilmesine olanak tanır; Voxman ise, yalnızca konser işlevine optimize edilmiş sabit bir tavan organizasyonu sunmaktadır. Ancak bu sınırlandırma, akustik kalitenin üst düzeyde sağlanmasıyla rasyonelleştirilir. Algısal Konfor Niteliği, kullanıcının çevresel verilerle kurduğu duygulanımsal dengeyle ilgilidir. Lowline Lab'da ışığın ritmik, yumuşak ve göz yormayan yayılımı, yer altı ortamında dahi biyolojik ritmi desteklemekte; Voxman'da sesin düzgün dağılımı kullanıcıda bilişsel konfor ve mekansal güven hissi yaratma potansiyeli taşır.

Bulgular, performans temelli tasarım anlayışı doğrultusunda tavan düzleminin mimarlık söyleminde ikincil bir yüzey olmaktan çıkarak, mekansal üretimin kurucu bir bileşeni olarak yeniden konumlanabileceğini ve mekan kurucu aktör haline gelebileceğini ortaya koymaktadır. Malzeme artikülasyonu, biçimsel morfoloji ve bağlamsal senkronizasyon aracılığıyla tavan; çevresel verilerin modülasyonu, davranışsal yönlendirme ve algısal organizasyon süreçlerine doğrudan müdahil olmaktadır. Dolayısıyla bu durum, sadece teknik performans ölçütleri odağında kalmadan, kullanıcı deneyimini odağına alan niteliksel bir performans katmanı üzerinden de okunmalıdır.

5. SONUÇ VE TARTIŞMA

Bu araştırma, performans temelli tasarım yaklaşımının iç mekan ölçeğinde birincil fonksiyonu olan teknik yeterliliklerin ötesinde, mekansal kimlik üretimine ve aynı zamanda davranışsal yönelim potansiyeline de katkı

sunan çok katmanlı bir tasarım paradigması olarak nasıl ele alınabileceğini incelemeyi amaçlamıştır. Özellikle tavan düzlemi üzerinden yürütülen analizler, bu yüzeyin yapısal bir taşıyıcı olmaktan çıkıp, performatif bir organizasyon düzlemi haline dönüşebileceğini göstermiştir. Araştırmanın temel katkısı, performans kavramının yalnızca enerji verimliliği, akustik kalite ya da ısı kontrolü gibi ölçülebilir çıktılarla sınırlı kalmadan; mekansal ifade ve kullanıcı deneyimi üretimi bağlamında da değerlendirilebileceğini ortaya koymasındır. Böylece, tasarım sürecinde formun bir sonuç olmaktan öte, çoklu etkileşimlerin üretken bir çıktısı olarak ele alınması gerektiği yönündeki güncel literatürle (Oxman, 2008; Hensel, 2010) uyumlu bir çerçeve sunulmuştur.

Araştırma kapsamında belirlenen her bir hedef, bulgularla desteklenerek karşılanmıştır: (i) Performans-temelli yaklaşımla tasarlanmış tavan sistemlerinin, çevresel verilerle kurduğu etkileşim üzerinden mekan üzerindeki etkisi nitel parametrelerle analiz edilmiş; (ii) bu sistemlerin kullanıcıyla kurabileceği potansiyel ilişkiler, biçimsel, davranışsal ve anlamsal düzlemlerde değerlendirilmiş; (iii) tavan düzleminin, çevresel verilerle etkileşim kurabilen, yönlendirme ve organizasyon üretebilen bir performatif arayüz olarak nasıl konumlandığı tartışılmıştır. Elde edilen veriler, hipotezi destekleyecek biçimde, performans temelli tasarım yaklaşımı doğrultusunda tavan düzlemlerinin çevre kontrolü rolünün ötesinde; mekansal kimlik üretme ve davranışsal örgütlenme aracı olduğunu fikrini desteklemektedir.

Bazı bulgular beklenen parametreler ile az ilişkilendirilmiştir, özellikle mekansal yönlendirme ve kullanıcı etkileşimi gibi parametrelerde düşük yoğunluklu etkiler gözlemlenmiştir. Bu durumun, tasarımın erken safhalarında kullanıcı odaklı senaryoların sınırlı kalmasından kaynaklanabileceği düşünülmektedir ve performans temelli yaklaşımlar için simülasyon verilerinin yanı sıra, kullanıcı analizlerinin de entegre edilmesi gerektiğini gösterir. Dolayısıyla, performans temelli tasarım yaklaşımının iç mimarlık pratiğine entegrasyonu noktasında teknik süreçler kadar, mekanın senaryolaştırılması ve kullanıcı ihtiyaçlarına göre çeşitlendirilmesi de önemlidir. Bu nedenle, performans temelli stratejilerin mühendislik alanının yanı sıra,

disiplinlerarası bir yaklaşımda ele alınması önemlidir.

Araştırmanın sınırlılıkları arasında, analizlerin yalnızca görsel ve dokümantatif verilerle yapılmış olması, kullanıcı deneyimine ilişkin gözlemlerin ise dışarda bırakılması yer almaktadır. Ayrıca, sadece kamuya açık projeler incelenmiş, farklı bağlamlardaki alternatif yaklaşımlar araştırmaya dahil edilmemiştir, bu yüzden bulguların genellenebilirliği sınırlıdır.

Sonuç olarak, bu araştırma göstermiştir ki: Performans temelli tasarım yaklaşımı, teknik bir tasarım optimizasyonu aracı olmanın ötesinde; iç mekanı yeniden kurgulayan, kullanıcıyı mekanın kurucu aktörü olarak konumlandıran, formu davranış ve anlamla ilişkilendiren bütünsel bir stratejidir. Bu strateji, iç mimarlık ölçeğinde geleceğin yüzeylerini edilgen sınırlar olmaktan çıkarıp; etken, algısal ve yönlendirici organizasyonlara dönüştürme potansiyeli taşımaktadır.

KAYNAKLAR

- Badino, E., Shtrepi, L. ve Astolfi, A. (2020). Acoustic performance-based design: A brief overview of the opportunities and limits in current practice, *Acoustics*, Vol. 2, Issue 2, pp. 246–278. <https://doi.org/10.3390/acoustics2020016>.
- Gagne, J.M. ve Andersen, M. (2010). Multi-objective facade optimization for daylighting design using a genetic algorithm. *SimBuild 2010 Proceedings*. (New York, 11–14 Ağustos 2010). s. 110–117.
- Gerber, D.J., Pantazis, E. ve Wang, A. (2017). A multi-agent approach for performance based architecture: Design exploring geometry, user, and environmental agencies in façades, *Automation in Construction*, Vol. 76, pp. 45–58.
- Hensel, M. (2010). Performance-oriented architecture: Towards a biological paradigm for architectural design and the built environment, *FORMAkademisk*, Vol. 3, Issue 1, pp. 36–56.
- Kalay, Y.E. (1999). Performance-based design, *Automation in Construction*, Vol. 8, Issue 4, pp. 395–409. [https://doi.org/10.1016/S0926-5805\(98\)00086-7](https://doi.org/10.1016/S0926-5805(98)00086-7).

Oxman, R. (2008). Performance-based design: Current practices and research issues, *International Journal of Architectural Computing*, Vol. 6, Issue 1, pp. 1–17.

Peters, B. (2010). Acoustic performance as a design driver: Sound simulation and parametric modeling using SmartGeometry, *International Journal of Architectural Computing*, Vol. 8, Issue 3, pp. 337–358. <https://doi.org/10.1260/1478-0771.8.3.337>.

Shi, X. (2010). Performance-based and performance-driven architectural design and optimization, *Frontiers of Architecture and Civil Engineering in China*, Vol. 4, Issue 4, pp. 512–518.

Spaeth, A.B. (2016). Acoustics as design driver, *Architectural Science Review*, Vol. 59, Issue 2, pp. 148–158.

Türk Dil Kurumu. (t.y.). Performans. Türk Dil Kurumu. Erişim tarihi: 5 Mayıs 2025, <http://www.tdk.gov.tr>.

URL 1. The Lowline, “The Lowline Lab”, <https://thelowline.org/lab/>, 15.03.2025.

URL 2. ArchDaily, “Sneak Peek at the World’s First Underground Park: The Lowline”, <https://www.archdaily.com/775937/sneak-peek-at-the-worlds-first-underground-park-the-lowline>, 15.03.2025.

URL 3. Wikipedia contributors, “Lowline (park)”, [https://en.wikipedia.org/wiki/Lowline_\(park\)](https://en.wikipedia.org/wiki/Lowline_(park)), 15.03.2025.

URL 4. ArchDaily, “Let There Be (Intelligent) Light / LAVA”, <https://www.archdaily.com/791163/let-there-be-intelligent-light-lava>, 03.03.2025.

URL 5. Matthijs Laroi, “Philips Lighting”, https://www.matthijslaroi.com/portfolio/philips_lighting/, 13.03.2025.

URL 6. ArchDaily, “Kunsthau Graz: A Friendly Alien Among Historic Landmarks”, <https://www.archdaily.com/1024004/kunsthau-graz-a-friendly-alien-among-historic-landmarks>, 15.03.2025.

URL 7. Arkitektüel, “Kunsthau Graz”, <https://www.arkitektuel.com/kunsthau-graz/>, 15.03.2025.

URL 8. ArchDaily, “Resonant Chamber / RVTR”, <https://www.archdaily.com/227233/resonant-chamber-rvtr>, 12.03.2025.

URL 9. RVTR, “Resonant Chamber Project”, <https://www.rvtr.com/projects/resonant-chamber>, 12.03.2025.

URL 10. Matthijs Laroi, “LAVA Axon”, <https://www.matthijslaroi.com/portfolio/lava-axon/>, 15.03.2025.

URL 11. Fab Academy, “LAVA Project at Fab Lab Napoli”, <https://archive.fabacademy.org/archives/2017/fablabnapoli/students/118/lava.html>, 15.03.2025.

URL 12. LMN Architects, “Theatroacoustic System for University of Iowa Concert Hall”, <https://lmnarchitects.com/lmn-research/theatroacoustic-system-for-university-of-iowa-concert-hall>, 20.03.2025.

URL 13. Architect Magazine, “University of Iowa Voxman Music Building’s Theatroacoustic Ceiling System”, https://www.architectmagazine.com/technology/architectural-detail/university-of-iowa-voxman-music-buildings-theatroacoustic-ceiling-system_o, 20.03.2025.