

CANLI MİMARLIĞIN KAVRAMSAL ÇERÇEVESİNİN TANIMLANMASINDA ENTROPİ YASASININ KULLANILMASI

Ebru YÜCESAN ALTAY
Hacettepe Üniversitesi, Türkiye
ebruyucesan@hacettepe.edu.tr
<https://orcid.org/0000-0002-6920-3522>

Duygu KOCA
Hacettepe Üniversitesi, Türkiye
duyguk@hacettepe.edu.tr
<https://orcid.org/0000-0003-4176-8115>

<i>Atf</i>	Yücesan Altay, E. & Koca, D. (2024). Canlı Mimarlığın Kavramsal Çerçevesinin Tanımlanmasında Entropi Yasasının Kullanılması. The Turkish Online Journal of Design Art and Communication, 14 (1), 19-31.
------------	---

ÖZ

Günümüzde yanıt veren mimarlık (*responsive architecture*) anlayışı çağdaş dönem tasarımcıların yeni keşifler yapmak adına eğilim gösterdiği bir tasarım alanıdır. Temel prensibi çevresiyle iletişim halinde olmak olan bu tip mimarilerin tasarım sürecinde canlı nitelik göstermeye başlamasıyla canlıları etkileyen ilkeler ve yasalar tartışma konusu haline gelmiştir. Bu tartışmalardan biri de canlıların yaşamsal devamlılıklarını pozitif veya negatif yönden etkileyen entropi yasasıdır. Bu doğrultuda çalışmanın amacı yanıt veren mimarlık anlayışında gerçekleşen canlılaşma kültürüyle ortaya çıkan canlı mimarlık (*living architecture*) yaklaşımının teorik çerçevesini oluşturmak adına, yaklaşımı entropi yasasıyla ele almak ve elde edilen kuramsal bilgi içinde temel kavramları ortaya çıkarmaktır. Çalışma bu amaç doğrultusunda canlı mimarlık alanına ait tarihsel gelişimi açıklamış ve entropi yasasına dair tanımlamaları ortaya çıkarmıştır. Çalışmada literatürde var olan anlatılar üzerinden entropi kavramının canlılarda yaratabileceği negatif etkilere tersinir yönden bakarak bu düşünce sisteminin faydacı potansiyelleri canlı mimarlık anlayışı üzerinden yeniden okunmuştur. Çalışmada entropi ve canlı mimarlık arasındaki ilişkisel bağlantıyı ortaya çıkarmak adına mantıksal tartışma yöntemi kullanılmıştır. Canlı mimarlık anlayışında entropi yasasının yeniden okunmasıyla bozulma-çürüme, yıkım, belirsizlik artışı, kontrol kaybı, geçicilik kavramları tanımlanmış, bu kavramların tasarım sürecini pozitif olarak etkileyeceği durumlar değerlendirilmiştir. Elde edilen sonucun gelecek çalışmalarda kuramsal tartışmaları çerçeveleyebileceği ve tasarım sürecinde kullanılan mevcut yöntemleri etkileyebileceği düşünülmektedir.

Anahtar Kelimeler: *Canlı Mimarlık, Entropi, Yaşayan Mimari, Canlı Materyaller, Tepkisel Mimari.*

USING THE LAW OF ENTROPY IN DEFINING THE CONCEPTUAL FRAMEWORK IN THE UNDERSTANDING OF LIVING ARCHITECTURE

ABSTRACT

Responsive architecture is a contemporary design field in which designers are inclined to make new discoveries. With its fundamental principle of being in communication with its surroundings, such types of architectures have become a subject of debate as they exhibit live qualities in the design process. One

of the discussions surrounds the entropic laws that affect the vitality of living creatures, either positively or negatively. In this context, the aim of this study is to establish a theoretical framework for the living architecture approach that emerges within the culture of "becoming alive" in responsive architecture, by examining this approach in light of the entropy law and revealing key concepts within the theoretical knowledge acquired. In line with this purpose, the study explains the historical development of the field of living architecture and introduces definitions related to the entropy law. By reconsidering the potential negative impacts of entropy in living creatures through the narratives in the literature, the utilitarian potentials of this thought system are reinterpreted in the context of the living architecture approach. A logical argumentation method is employed in the study to establish the relational connection between entropy and living architecture. As a result of reinterpreting the entropy law in the living architecture approach, concepts such as decay, destruction, uncertainty, loss of control, temporariness, and finiteness are defined, and situations in which these concepts positively affect the design process are evaluated. It is believed that the outcome can frame theoretical discussions in future studies and influence the existing methods used in the design process.

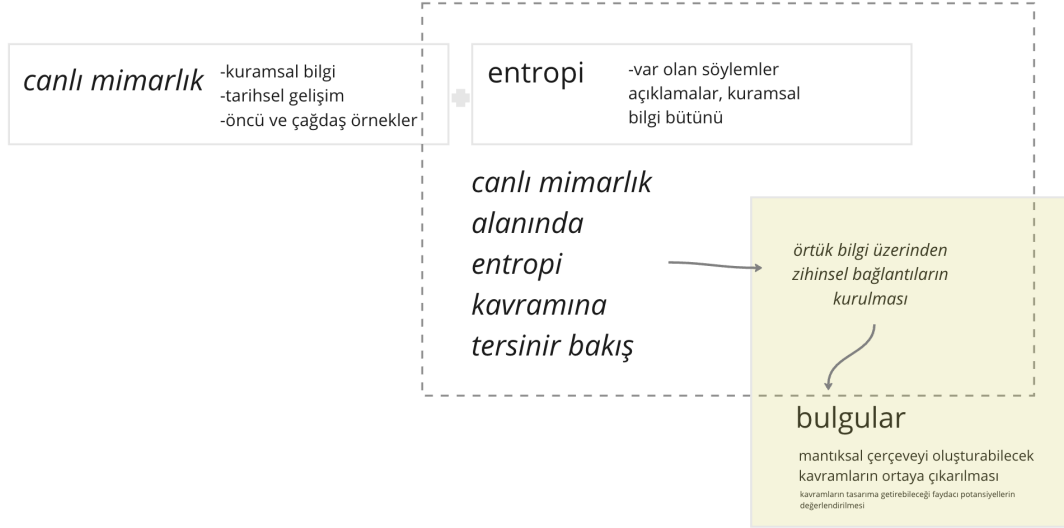
Keywords: *Living Architecture, Entropy, Alive Architecture, Living Materials, Responsive Architecture.*

GİRİŞ

Mimari tasarımları canlılar gibi çevreye karşı tepkisel duruma getirmek etkileşimli tasarımların temel idealini oluşturmaktadır. Yapıların insan ihtiyaçlarını algılayabilir, esnek ve tepkisel olma durumuna gelmesi mimari tasarımların canlı organizmalar gibi geliştirilmesine neden olmuştur. Canlı sistemlere benzetilen bu tip yapılar etkileşimli mimarlık (interactive architecture), uyumlanabilir mimarlık (adaptive architecture), yanıt veren mimari (responsive architecture) olarak tanımlanmaktadır ve bu alanda geliştirilen pek çok tasarım yapılmaktadır. Bu başlıklarda ortaya çıkarılan örnekler kinetik cephe sistemleri, hareketli yapı elemanları, değişken yüzey veya donatılar, çevreye karşı tepkisel aydınlatma ve iklimlendirme sistemleri olarak örneklenebilir. Genetik ve biyoloji alanına dair gelişmelerin disiplinlerarası çalışmalarla desteklenmesiyle yanıt veren mimari olarak geniş çerçevede tanımlanan bu örnekler 2000'li yılların başında organik canlıların uyumlandırılmasıyla yeni bir kuramsal zemin hazırlanmıştır. Zamanla laboratuvar ortamlarının tasarımcı ve mimarlara açılması tepkisel tasarımlara organik canlılar, tasarlanmış hücreler, canlı organlar ve canlı nitelik taşıyan organeller entegre etme olanağı sağlamıştır. Çalışmalar özelinde bu alanda yapılan tartışmalar literatürde living architecture terimi ile ele alınmıştır. Bu mimari anlayışta kullanılan bakteriler, mantarlar, algler, mikroplar, yapay etler, yönlendirilmiş hücreler gibi bileşenler de canlı malzeme (living material) olarak tanımlanmıştır. Bu çalışma kapsamında ise canlılık terimi hücreye sahip olan varlıklar özelinde sınırlandırılmıştır.

Çağdaş dönemde Rachel Armstrong, Martyn Dade Robertson, Philip Beesley, Neri Oxman gibi tasarımcılar canlı organizmaları öykünmek yerine tasarımlarında direkt canlıları kullanarak bu alanda yeni çalışmalar yapmaktadırlar. Çalışmaların artmasıyla birlikte alanın bilgi bütünlüğü içinde canlıları ilgilendiren farklı teori, yasa veya ilkeler de mimari tasarım alanında tartışma konusu olmaya başlamıştır. Canlı ve cansızların yaşamsal devamlılıklarını ilgilendiren bu yasalardan biri entropi yasasıdır. Entropi canlıların devamlılığını sağlayan, evrenle ve dünyadaki değişken durumlarla canlıların yaşamsal bütünlüklerini değiştiren bir yasa olarak canlı mimarlık alanında tartışılması gereken bir konu olmuştur. Entropik güçlerin tasarım sürecindeki keşfi canlı nitelik gösteren mimari aktörleri de ilgilendiren bir konu olacaktır. Bu bağlamda entropinin varlığını ve etki alanlarını tasarımcı düşüncede nitelendirmek entropiye dirençli bir anlayışla yapı tasarlama anlayışını da değişime uğratabilir. Bu bağlamda çalışma kapsamında canlı mimarlık anlayışı ile entropi kavramı birlikte ele alınarak iki düşünce sistemi arasında zihinsel bağlantılar kurulmaya çalışılmıştır. Bu kapsamda çalışmanın amacı, günümüzde canlı mimarlık alanı üzerine gerçekleştirilebilecek araştırma ve çalışmaların anlaşılması adına, entropi yasası kullanılarak temel kavramları ortaya çıkaran kuramsal bir çerçeve geliştirmektir. Aynı zamanda canlı mimarlıkta entropiye tersinir bakış açılarını değerlendirmek ve bu alandaki kuramsal bilgiye dair temel kod veya kavramları çerçevelemektir. Bu süreçte çalışmada yöntem olarak mantıksal tartışma yöntemi kullanılmıştır (Şekil 1). Bu yöntem mimarlıkta araştırma yöntemleri üzerine

çalışan Groat ve Wang' in belirlediği 7 farklı araştırma stratejisinden biridir. Mantıksal tartışma halihazırda var olan mevcut teorilerin açıklanmasını sağlamaktadır; aynı zamanda belirli teori veya kavramların üstüne eklenilebilecek zihinsel temellerin oluşturulmasına yardımcı olmaktadır. Mantıksal tartışma uygulamada deneyimlenmiş veya deneyimlenmemiş soyut düşünce sistemlerinin oluşturulmasında kullanılır. Bununla birlikte bir konuya dair kuramsal bilgi bütününde temel ilke veya kavramların çerçevelenmesini sağlamaktadır (Groat & Wang, 2013: 379).



Şekil 1. Amaç, kapsam ve yöntem ilişkisi

Böylelikle yanıt veren mimari anlayışına entropi kavramının etki etmesiyle yaşanabilecek olan paradigma değişiminde, yeni düşünce sistemlerinin üretilmesinde çalışmada ortaya çıkarılmış olan kavramlar kullanılabilir. Bu şekilde konu üzerinde yapılacak olan çalışmaların yeniden ele alınmasına gerek kalmadan kavramların belirlediği çerçeve ile yeni tartışma ortamları yaratılabilecektir. Konuyu daha iyi tanımlamak adına canlı mimarlığın tarihsel gelişimi, etki alanları ve çağdaş dönemde ortaya koyulan örnekler araştırılmıştır.

CANLI MİMARLIK ANLAYIŞI

Canlı mimarlık, binaların yapımında doğal çevreyi ve canlı organizmaları bir araya getirmeyi amaçlayan bir anlayışı temsil etmektedir. Bu yaklaşım, yapıların sadece insanlar için değil, aynı zamanda doğal ekosistemlerle insanların birlikte var olması gerektiğini vurgular ve doğal süreçlere uyumlu olmalarını nitelemektedir. Günümüzde, inşaat teknikleri ve bina tasarımları, uzun vadede çevreye zarar verebilir, aynı zamanda esnek kullanımlardan yoksun olabilir. Adamatzky ve diğerleri, yapılarda kullanılan malzemelerin çevreye verdiği zararın büyük olduğunu ve büyük miktarda enerji tüketildiğini belirtmektedir. Bu durum doğal kaynakların tükenmesine neden olmaktadır. Ancak, canlı mimarlığın amacı, binaların çevreye olan olumsuz etkilerini en az hale getirmektir. Dolayısıyla, mevcut inşaat paradigmasının, canlı malzemelerin kullanımını içeren yeni yaklaşımlarla gözden geçirilmesi gerekmektedir (Adamatzky vd., 2019: 2). Canlı mimarlık anlayışına ait tasarım kültürü farklı disiplinlerden gelen tasarımcıları bir araya getirme eğilimindedir. Biyoloji ve genetik biliminin ilerlemesi, yeni malzeme üretimi ve canlı organizmaların yapı elemanı olarak kullanımı konularında tasarımcılara yeni fırsatlar sunmuştur. Bunlara ek olarak, gelişen bilgisayar teknolojileri, canlı malzemelerin yapısal bileşenlerini yönlendirebilmeyi mümkün kılmış ve dijital tasarım araçları sayesinde canlıların davranışları daha ayrıntılı bir şekilde analiz edilebilir hale gelmiştir.

Canlı mimarlık, özellikle sibernetik alanındaki çalışmaların büyük etkisi altında gelişmiştir. Sibernetik, canlılarla makinelerin kendi kararlarını verme yeteneklerini geliştiren ve beklenmedik koşullara uyum sağlama yeteneği üzerine odaklanan bir alandır (Lovelock, 2015: 50). Sibernetik biliminin mimarlıkla

ilişkilendirilmesiyle birlikte, yapılar çevre ve canlılara karşı duyarlı bir karakter kazanma potansiyeline sahip hale gelmiştir. Canlı mimarlığın temelinde sibernetiğin etkisi ve mimariye olan katkısı bulunurken, yapıların neredeyse organizmalar gibi tepki verebilme yetenekleri üzerinde durulan bir konu olmuştur.

Sibernetik alanında çalışan isimlerden olan Negroponte ve Gordon Pask gibi araştırmacılar, teknoloji aracılığıyla insanlar ve diğer varlıklar arasındaki bilgi akışını geliştirmeye yönelik yapılar üzerinde yoğunlaşmıştır. Aynı dönemde, Yona Friedman gibi öncü tasarımcılar, kullanıcıların ihtiyaçları ve isteklerini dikkate alan, neredeyse organizmalar gibi işleyebilen yapıların konsept örneklerini geliştirmiştir. 1960'lar ve 80'lerde, doğadan ilham alarak yapı malzemelerinin tasarıma entegre edilmesi büyük bir ilgi odağı olmuştur. 90'lı yıllarda ise ekonomik büyüme ile kullanıcıların ihtiyaçları, akıllı evler gibi insan odaklı tasarım alanına kaymıştır ve aynı dönemdeki biyolojik gelişmeler, canlı mimarlık anlayışının gelişmesine katkı sağlamıştır.

Beesley'in perspektifine göre, canlı mimarlık anlayışında yapılar, etrafındaki canlı varlıkların davranışlarını izleyebilen, kendini düzenleyebilen ve yeniden yapılandırabilen organizmalarla iş birliği yapabilmektedir. Tasarlanan yapılarda canlı organizmalar, sentetik organizmalar, yarı canlı organizmalar ve yönlendirilmiş hücreler gibi çeşitli yapı malzemeleri kullanılabilir (Beesley, 2014: 75). Bu durum mimarlık ve teknolojinin doğayı taklit ederek daha sürdürülebilir ve etkileşimli yapılar inşa etme yönündeki evrimin bir parçası olarak görülebilir. Cogdell'e göre, canlı mimarlık, farklı disiplinlerin kesişim noktasında bulunan bir alanı temsil etmektedir. Bu alanda, yüksek teknoloji kullanımıyla tasarımcılar canlı veya yönlendirilmiş hücrelerle yapılar, mekanlar ve donatılar tasarlama idealini takip etmektedir. Bu yaklaşım sadece işlevselliğe odaklanmakla kalmamakta, aynı zamanda deneyimsel ve geleceğe dönük araştırmaları da içermektedir (Cogdell, 2019: 192). Deneysel ve işlevsel çalışmalar, canlıları yazılımlar ve donanımlarla yapılara entegre etme amacını taşımaktadır. Hamann ve diğerlerine göre, canlı malzeme araştırmaları morfogenetik alanını ve sibernetik teknolojileri bir araya getirmektedir (Hamann vd. 2015: 1). Bu yaklaşımla, canlı materyaller ve teknolojik cihazlar bir araya gelerek yeni bir canlılık anlayışının kapılarını aralayabilirler. Organizmalar, kinetik sistemler, robotik bileşenler, sensörler bir araya gelerek yapıların canlı niteliklerini artırabilirler.

Canlı mimarlık geleneksel yapı malzemeleri yerine canlı organizmalardan ilham almayı veya organik hücresel yapıları kullanmayı önermektedir. Armstrong ve Spiller'e göre, programlanmış hücreler yeni bir malzeme olarak kullanılabilir ve bu yaklaşım mimari, biyoloji ve kimya alanlarını bir araya getirebilir. Bununla birlikte bu yaklaşım canlılık özelliği taşıyan malzemelerle birlikte insan ve çevre etkileşimini artırabilir, gelecekte yenilikçi ve sürdürülebilir yapıların tasarımında önemli bir rol oynayabilir (Spiller & Armstrong, 2011: 136).

Bu kapsamda canlı mimarlık ile ilgili çağdaş örnekler bakıldığında Martyn Dade-Robertson ve çalışma ekibinin geliştirdiği *The Ome* projesi ele alınmıştır (Şekil 2). Proje 2021 yılında ortaya atılmış ve gelecekte biyo teknolojilerden oluşan bir iç mekanı tahayyül etmektedir. Mikrobiyal bir ortamı tanımlayan iç mekanda kullanıcı ihtiyaçlarını karşılamak adına bakteri üretimi yapılmaktadır. Bakteriler mekanda bulunan canlılar için faydacı bakteriler oluşumunu desteklemektedir. Bu amaç doğrultusunda mekan içinde yüzeyleri, donatıları yaşayan hücreler oluşturmaktadır, aydınlatma sistemi ise çevresine ışık veren biyoluminesan bakterilerle tasarlanmıştır (The OME, t.y.).



Şekil 2. Dade-Robertson, M. vd. (2021). *The Ome Projesi*.

Kaynak: <https://www.ncl.ac.uk/press/articles/archive/2019/07/commentbuildingsofthefuture/>

Benzer şekilde Rachel Armstrong' a ait *Future Venice* projesi (Şekil 3) bir gelecek önerisi olarak tasarlanmıştır ve Venedik'te var olan yapıları suyun içinde kalacak şekilde destekleyebilecek bir resif önermektedir. Resifin oluşumunda sentetik olarak hazırlanmış programlanabilir hücrelere sahip yapay bir kireçtaşı kullanılmıştır. Damlacıklar suda bulunan mineral ve karbondioksiti kullanarak, şehrin temelinde bulunacak olan resifi güçlendirecektir (Armstrong, 2014: 480).



Şekil 3. Armstrong, R. (2014). *Future Venice Projesi*.

Kaynak: <https://www.dezeen.com/2014/05/30/movie-rachel-armstrong-future-venice-growing-giant-artificial-reef/>

Bir diğer örnek ise Mitchell Joackhim ve çalışma arkadaşlarının geliştirdiği *Terreform ONE* projesidir (Şekil 4) (Joachim, 2015: 73). Projede yaşayan bir domuzun hücrelerinin çoğaltılmasıyla ve üç boyutlu

baskı sistemleri kullanılarak yaşayan organ strüktür geliştirilmiştir. Strüktüre ait deride oluşan bakteri ve mikropların öldürülmesi için sodyum benzoat gibi kimyasallar kullanılması önerilmiştir (Terraform, t.y.).



Şekil 4. Joackhim, M. vd. (2015). *Terreform ONE Projesi*.

Kaynak: <https://www.terreform.org/in-vitro-meat-habitat>

Çağdaş örnekler bakıldığında çalışmalarda organik maddelerin doğrudan yapı malzemesi olarak kullanıldığı görülmektedir. Çalışmalarda insan ve insan dışı olan canlıların tasarım aracılığıyla bir araya getirildiği ve yaşam alanları için faydacı ilişkilere alan açtığı söylenebilir. Bunun yanında canlılığa dayanan tasarımların farklı disiplinlerle çalışma gerektirdiği ve doğadan esinlenmekten ziyade doğada var olan canlı nitelik gösteren sistemleri tasarımlara entegre etmeye çalıştığı söylenebilir. Böylelikle tasarımların canlı veya canlı gibi tepki verebilen kontrol sistemleri olarak tasarlandığı görülmektedir. Bu dönemde var olan tasarım düşüncesinde yapıların daha kontrollü mekanik değişimlere olanak sağlaması ön planda olmuştur. Mekanizmalar hayvan, bitki ve insan davranışlarını taklit ederek mimari tasarımı şekillendirmiştir. Örnekler doğrultusunda canlıların üretim, uygulama gibi süreçlerinin tasarım sürecini de etkileyeceği söylenebilir. Tüm bunların yanında canlılara ait kuramsal bilgide var olan yasa, ilke, olguların da tasarımın doğasını değiştireceği öngörülebilir. Bu kapsamda entropi kavramı canlılığın devamlılığını büyük oranda etkileyen bir yasa olarak canlı mimarlıkta tartışılması gereken bir konu olmuştur. Bu durumu netleştirmek adına entropiye ait tanımlamalar ve düşünce sistemleri incelenmiştir.

ENTROPİ

Entropi; bilimden sanata pek çok alanda kavramsal olarak ele alınan ve yaratıcı süreçlerde kullanılan bir kavramdır. Fizik biliminde temellenen bu kavram ortaya çıktığı süreçten itibaren çeşitli disiplinler içerisinde değerlendirilmiştir. Suhsterman'a göre entropi 1865'te çağdaş fiziğin temeli olarak termodinamik tartışmaya açılmıştır ve aynı dönemde mikroskobik öğeler ile ilişkilendirilmiştir. 1950'li yıllar ise entropinin iletişim ve bilgi teorisiyle ele alındığı bir dönem olmuştur (Shusterman, 2012: 472). Entropi tarih boyunca ilişkilendiği teoriler üzerinden canlılıkla birlikte değerlendirilmiştir. Diğer bir yandan entropi, fiziksel çalışmaların evren içindeki sistemlerin davranışlarını anlamak için geliştirilen bir ilkedir. Genellikle canlı-cansız varlıkların içindeki düzensizlik, belirsizlik ve karmaşıklık

seviyelerini ifade etmektedir. Songar'a göre canlı organizmalar entropi artışını kontrol etmek ve yaşamlarını sürdürmek için davranışlarını değiştirebilir. Bu organizmalar, çevrelerinden gelen enerjiyi kullanarak belirsizlik seviyelerini geçici olarak azaltabilirler (Songar, 1979: 30). Entropi, canlı sistemlerin karşı koyduğu bir kavram olarak kabul edilirken, aynı zamanda canlıların devamlılığını sürdürebilmek için uygun koşullar yaratma yeteneğine de sahip olabilir.

Canlılar, entropinin doğurduğu düzensizlik, karmaşıklık, bozulma ve çürüme gibi yıkıcı koşullarla başa çıkma yeteneğine sahiptir. Entropinin artışı, azalışı veya dengeye oturması gibi durumlar, canlı organizmaların sürekliliği için hayati önem taşıyan değişkenler arasında yer alabilir. Bu nedenle canlılar için, entropiye bağlı koşulların, yaşamın devamı adına etkili faktörler haline geldiği söylenebilir. Canlılar organik bütünlüklerini korumak amacıyla entropiye karşı direnç gösterirler. İnsan merkezli gelişmelerde, yaşam koşulları, yapılar, kültürler ve teknoloji gibi etkenler, entropiye karşı direnme izlerini taşır. İnsan yaşamının sürekliliği ve sürdürülebilirliği için entropiye karşı koymak temel bir ilkedir ve bu, entropinin ve evrenin yok oluşuna karşı bir savunma anlamına gelmektedir.

Khan'a göre, entropi yasası canlı organizmalar üzerinde büyük bir etkiye sahiptir. İnsan bedeni, dışarıdan gelen besinleri enerjiye dönüştürerek iç dengeyi korumaktadır. Bu süreç, iç düzeni korurken çevreye enerji akışını sağlar; ancak, bu süreç bozulduğunda vücut bütünlüğü tehlikeye girmektedir. Bu nedenle, canlılığın sürdürülebilmesi adına entropi seviyesinin kontrol altında tutulması gerekmektedir (Khan, 1985: 68). Bu bağlamda entropi çevresel düzensizlikler, canlı organizmanın hücresel yapılarını düzenlemek için bir uyarıcı olarak işlev görebilir. Ayrıca, entropinin kontrol edilmeye ve azaltılmaya çalışılması, canlılığın sürdürülmesine katkı sağlayabilir. Udgaonkar'a göre, entropi hücre içindeki enzimlerin faaliyetlerinde önemli bir rol oynar ve hücrelerin yaşamını sürdüren moleküler hareketlerin etkinleşmesinde kritik bir faktördür (Udgaonkar, 2001: 61).

İki canlılık etkileşimine bağlı yaşam ortamının oluşumu, canlılığın devamının sağlanabilmesi adına önemlidir. Weiner'a göre canlı kalabilen organizmalar madde-enerji alışverişine açık sistemlerdir; madde-enerji akışı sağlamayan sistemleri ise kapalı sistemlerdir (Weiner, 1975: 20). Aynı zamanda entropi ile doğanın düzensiz yapısı ilişkilidir ve kapalı sistemlerdeki entropi yükselişi termodinamiğin ikinci yasasını niteler. Bunun yanında insanlar canlı varlık olarak kapalı sistemler değildir ve dış dünyaya besin almak adına bağımlıdırlar. İnsanların canlı kalabilmesinin temel nedeni bu alışveriş yapabilmeleridir. Alışveriş sonucunda canlılar, aldıkları besinleri enerjiye dönüştürerek canlılıklarının devamını sağlayabilirler.

Bu tanımlamalar doğrultusunda canlı mimarlığın açık sistemlere dönüştüğü ve entropik güçlerden etkilenilebileceği söylenebilir. Bu durumda canlıların yaşamsal niteliklerini devam ettirmek adına gösterdiği ve entropik güçlerle ilişkilerinin mimariye etki edeceği öngörülmektedir. Bu kapsamda canlı mimarlığın entropiye bakış açılarıyla birlikte değerlendirilmesi tasarıma dair değişimlerin algılanabilmesi adına önemli olacaktır. Bir sonraki bölümde canlı mimarlık alanına entropiye dair incelemeler üzerinden yeniden bakılmıştır.

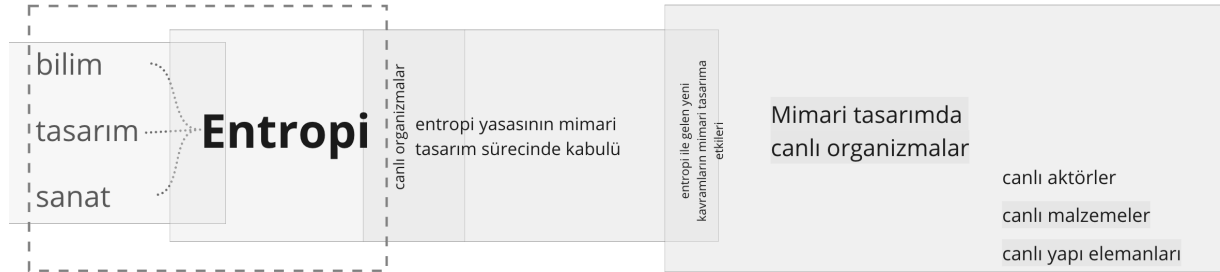
CANLI MİMARLIK ALANINA ENTROPİ OBJEKTİFİNDEN BAKILMASI

Entropi, çağdaş mimaride yeni bir canlılık anlayışının çeşitli paradigmalara tartışılmasına alan açmaktadır. Mimarilerin organellerle iş birliği kurması canlılıkla yakından ilişkilendirilen entropi kavramını da canlı mimarlık alanının konusu haline getirmiştir. Konu ile ilgili günümüzde Rachel Armstrong, Philip Beesley gibi araştırmacı mimarlar yeni fikirler üretmekte projeler yapmakta, deneysel sergiler gerçekleştirmektedir. Bu bağlamda canlı mimarlık alanında entropi kavramı düşünsel anlamda tasarıma bakışı değiştirecektir.

Beesley'e göre hesaplama beslenen canlı mimarlık belirsiz, karmaşık güçlere açık tasarlanmaktadır. Bu şekilde kendi doğasına ve dışarıdan gelen etkilere karşı tepkimeler oluşturarak entropik güçlere açılabilirler. Bu açılımın nedenleri ise mimarilerin hissedebilir, empati kurabilir olması, keşfederek

zaman içinde öğrenebilmesi ve zamana karşı dayanıklılıklarını artırabilmeleridir (Beesley, 2019: 2). Böylelikle organizmalara benzer ve canlı organizma barındıran yapı elemanları entropik alana açılarak entropiye direnebilir. Entropi, canlılar ve yapılar için direnç gösterilmesi gereken bir kavram iken günümüzde entropinin kabulü ile yapıların dirençlerini canlı malzemelerle kırarak devamlılıklarını artırma; çevreyle, insan ve insan dışı canlılarla uyumlanma sürecini iyileştirme konusu gündeme gelmiştir. Armstrong'a göre organizmalar negentropi ile beslenmektedir, bu gibi olumsuz durumlara karşı yaşamın dirençliliği aynı kavramlarla beslenerek karmaşıklaşmıştır (Armstrong, 2018: 45). Bu bağlamda entropi canlı mimarlıkta yapıların ya da malzemelerin yaşamsal devamlılıkları, yok oluşları, dirençleri ve çevrelerindeki canlılarla ilişkilerini etkileyen hem metaforik hem reel bir ilişki bütünlüğü kurabilir.

Canlı organizmalar karar verme yetenekleriyle entropiye karşı direnç göstererek canlılıklarını devam ettirmektedir. Bu yetenekleriyle buldukları çevrede düzenli bir ortam yaratabilirler. Yaratılan bu düzenli ortama rağmen canlılar ve makineler açık sistem oldukları için bölgesel ve geçici etkiler yaratmaktadır (Weiner, 1975: 20). Bu düşünce doğrultusunda canlı mimarlıkta kullanıcı-ziyaretçi olan insanlar ve entropik güçler arasında bir ilişki kurulduğundan bahsedilebilir. Bu durumda mimarinin canlılaşması ve canlılarla ilişkiye girmesi onu entropiye direnen bir güç haline getirebilir. Açık sistem olarak görülebilecek olan mekan-ortam ve ziyaretçiler, düzensiz entropik ortamda dışarıdan beslenerek birlikte yaşamsal devamlılıklarını sağlayabilir. Bu sürecin oluşumunda ise entropinin varlığının mimaride kabulü etkili olacaktır. Entropinin mimarlığa etkisi yaratıcı süreçleri besleyebilir ve canlı, yarı canlı, sentetik organizmaların mimariye dahil edilmesiyle entropiye direnen mimarlık anlayışı sorgulanabilir. Bu bağlamda mimarlıkta canlıların tasarım bileşeni olarak kullanımı beraberinde entropiye karşı olan direncin kırılması konusunu gündeme getirmektedir. Böylelikle entropiye rağmen tasarım anlayışı yerine entropik güçlerle tasarım anlayışı tartışmaya açılmalıdır. Canlıların yapılar, mekanlara, donatılara uyarlanması yapı ile etkileşime geçen canlı aktörlerin mekan deneyimini de değiştirebilir. Bu deneyimde entropinin sisteminin yapısı ve aktörleri etkileyeceği söylenebilir (Şekil 5).



Şekil 5. Entropi kavramı ve mimarlıkta canlı organizmalar

Günümüzde canlılar üzerine yapılan araştırmalar, biyoloji alanında olan gelişmeler ve entropinin insan yaşamı üzerindeki etkilerine tersinir bakışlar geliştirilmeye başlanmıştır. Bu düşünce sistemlerinde entropinin getirdiği karmaşık durumlar, canlılar arası belirsiz etkileşimler, kaosun ve organik anlamda bozulma ve çürümenin yaşam üzerindeki devamlılığı, iyileştirici gücü ve tetikleyici etkileri üzerine yoğunlaşmıştır. Entropi, yaşamın devamlılığı, canlıların devamlılık ve bütünlükleri için pozitif değerler yaratabilir. Rifkin'e göre canlıların evriminde entropinin rolü vardır; canlılar çevreden gelen serbest enerji akışına karşı negatif entropi oluşturmaktadır. Bu şekilde biyolojik evrim tamamen tek yönlü gelişim göstermediğinde entropi enerjinin kullanım döngüsüne etki eder ve canlılar enerjiyi kullanılamaz duruma getirerek geri gönderir. Enerjinin harcanması canlıların daha karmaşık yönde evrimleşmesine neden olabilir. Böylelikle harcanan enerji ile daha karmaşık türlerin evrimi gelişim gösterebilir (Rifkin & Howard, 1980: 78). Bu bakışla canlıların mimarlıkta kullanılmasıyla yapıların karmaşık doğasının geliştirilebileceği söylenebilir. Aynı zamanda canlı mimarlığın enerji tüketen

yapıları davranışsal veya organizma düzeyinde evrimleşme olanağına sahip olabilecekleri durumlar yaratabilir.

Entropiye direnç modern mimarlığın ön kabulüdür ve yapıların bozulma, çürüme, belirsiz ve karmaşık ilişkilere kapalılığı baskın bir anlayış olmuştur. Bu şekilde bakıldığında canlı mimarilerde entropinin kabulüyle mimarinin deneysel yöntemlere açılacağı ve kendi temellerini sarsabileceği söylenebilir. Dönmez'e göre mimarlıkta kalıcı ve sağlam olma ilkesini ortaya atan Vitruvius yapıları ortaya çıkarırken sağlam temellere dayandırma ve kalıcı olma düşüncesiyle tasarlanmasını nitelemiştir (Dönmez, 2016: 285). Entropi başlangıçta getirdiği düzensiz ve dengesiz durumlarla canlı yapıların bozulmasına neden olabilir ve bu duruma izin vermek ise tasarımcının elindedir. Tüm bunların kabulüyle tasarımın gerekliliklerine dair deneysel çalışmalar yeni anlatımlar ve yeni problematikler ortaya çıkabilir. Entropinin getirdiği negatif durumların kabulü ile canlı mimarlıkta yapının kendisi ve onu deneyimleyen tüm canlı aktörler entropik güçlere açık duruma gelebilir. Gillen'e göre entropi ile mekan arasında çekişmeli bir gelirim vardır ve entropi yapısal elemanlar üzerinde istilacı bir etki yaratır. Mekan entropiye ait enerjiyi içinde barındırmaktadır. Yapılar entropinin öngörülemez düzensizliğine sahiptir ve yaşam alanları sonsuz kalıcılık düşüncesiyle yapılandırılır. Fakat yapılar dış katmanlarından başlamak üzere enerjinin denge durumunun bozulmasına açıktır (Gillen, 2016: 3).

Bu durumda entropi doğası gereği tasarımın bir parçası olabileceken modern yapılanmada dışarıda bırakılmış ve tasarım sürecinde bir bileşen olarak kullanılmamıştır. Canlı mimarlık bu bağlamda entropinin varlığını canlılık esasına bağlı olarak kabul etmek durumundadır. Entropiyi kabul etmek ona ait tersinir bakışları incelemeyi gerektirmektedir. Tersinir yönden düşünmek entropiye direnci kıracak bir bakış açısı yaratabilir. Fernandez'e göre yapılar durağan değildir ve eskimeye, bozulmaya, zayıflamaya, dezenformasyona açıktır. Yapıları durağan öğeler olarak görmek alışkın olunan bir bakış açısıdır. Bu bakış açısı kullanıcılar ve tasarımcılar için kaçınılması gereken bir durum gibi görülmektedir. Bunun yanında yapılar sabit sistemler olarak değil dinamik sistemler olarak düşünülebilir (Fernandez, 2017: 98). Bu tersinir bakışta açık sistemler olarak canlı mimarlık ve canlı aktörler entropinin tetikleyici gücünü pozitif yönde tasarımın bir parçası olarak kullanabilir. Entropi, canlı mimarlıkta yapıcı ve yaratıcı güçleri harekete geçirebilir. Canlı mimarlıktaki yaşayan sistemlerin kaotik davranışları, yapı ve yapının aktörleri adına canlılık için gereken etkileşimleri sağlayabilir.

Entropinin getirdiği bozulma canlılar için akışkan bir düzlemde ele alınır ve canlılar için bir ihtiyaç olarak görülmektedir. Akman'a göre evren ısı ölümüne giden bir sistemdir; canlıların bu sistemde bozulmaya gitmesi ise kaçınılmaz bir durumdur. Çürüyerek bozulan canlılar ısı ölümüne karşı tersine entropik güçler geliştirmektedir (Akman, 1978: 119). Canlı mimarlık entropinin getirdiği bozulma durumuna karşı ısı ölümüne direnen bir yapıda geliştirilebilir. Bu direnç tasarımcı tarafından kabul edilerek tasarım programlarına eklenilebilir. Böylelikle tamamen bozularak yok olabilecek canlı bir yapının sürdürülebilirliği sağlanabilir. Bozulmanın getirdiği tahmin edilemez süreçler de aynı tasarım programının problematiği haline gelecektir, Hoffman'a göre ise belirsizlik, düzensizlik gibi durumlar yaşamın devamlılığını sağlamaktadır (Hoffman, 2012: 114). Tasarım sürecinde entropiye ait öngörülemez durumların bir parametre olarak belirlenmesi mimari-canlı aktörler ve çevre arasında geliştirilen simbiyotik ilişkinin devamlılığını sağlayabilir. Bu şekilde canlı mimarlığın sonunu getirebilecek durumlar sürece dahil edilerek program içinde müdahalelerin geliştirilmesi sağlanabilir. Musset'e göre yok edici güçlere karşı direnme yerine canlılığın getirdiği düzensizliğe karşı yeni yöntemler geliştirilmelidir. Böylelikle kontrol dışı olandan kaçınılarak, onu eleştirmek ve yok saymak yerine bu güçler yaşamın içerisine uyumlandırılabilir (Musset, 2022: 3). Canlılığın doğasında var olan belirsiz gelişmeler canlı sistemler için yaratıcı fırsatlar doğurabilir. Canlılar için olumsuz çağrışımlar yapan tutarsızlıklar yaşamın devamlılığını sağlayan itici güçler durumuna gelebilir (Armstrong, 2018: 37). Canlılar için sonluluk, geçicilik kavramları entropi kavramı ile üretkenlik için kullanılabilir (Musset, 2022: 3). Yıkım ve yaşayan mimarlık arasındaki ilişki yapıların kalıcılığını etkileyebilir; bu yıkım durumu kaçınılmazdır ve faydacı fırsatlar oluşturulabilir. Dirence karşı açılan alan içinde yapılar, farklı yaşam formları ile beslenerek yeni yapılar oluşturabilir. Yıkıcı durumlarla yapılarda farklı

malzemeler eşleşebilir ve dönüşebilir. Yıkım farklı organizmaları bir araya getiren bir unsur niteliği taşıyabilir. Çürüme durumu ise yapılarda uyum sağlayabilme becerisini arttırabilir (Armstrong, 2018: 45). Çürüme, bozulma gibi biyolojik süreçler tahmin edilemeyen ve yok olma odaklı olmasına rağmen zamanın da bir araç olarak kullanılmasıyla sürece etki edebilir. Çürümenin doğasında var olan parçalanma ve sonrasında tekrar birleştirme süreçleri tasarım aşamasında yapı sökümcü bir nitelik gösterebilir. Bu şekilde canlı mimarlığın yapıları çevredeki entropiyi artırarak organel yapılarının canlılıklarını sürdürebilir. Aynı zamanda bu ortamı paylaşan canlı aktörler de düzensiz enerjiyi soğurarak canlı niteliğinin korunmasına yardımcı olabilir. Bu bilgiler doğrultusunda entropinin mimari tasarımda negatif gibi görülebilecek etkilerinin canlı mimarlıkta yeni etkileşim potansiyellerine olanak tanıdığı söylenebilir. Tersinir bakış açısının yapıların, ortamların veya sistemlerin çevreye karşı dirençlerini, yaşam sürelerini, malzeme niteliklerini değiştirebileceği söylenebilir. Aynı zamanda tasarımdaki ihtiyaç hiyerarşisini, tasarım ihtiyaç programlarını, ortamı deneyimleyen aktör ilişkilerini etkileyebileceği öngörülebilir.

İncelenen açıklamalar ve anlatılar üzerinden elde edilen veriler doğrultusunda canlı mimarlık alanına entropi yasasıyla birlikte bakılmasıyla, belirlenen kavramların bir kuramsal çerçeve oluşturmak adına kullanılabileceği tespit edilmiştir. Literatür özelinde tartışılan konular üzerinden belirlenen kavramlar; bozulma-çürüme, yıkım, belirsizlik artışı, kontrol kaybı, geçicilik-sonluluk kavramlarıdır. Bu kavramların entropi ve canlılık arasındaki ilişkinin açıklanmasındaki tekrarı ve canlı mimarlık anlayışına dair nitelemelerdeki varlığı mevcut paradigmalarda oluşturulmasında bir örüntü oluşturmaktadır. Mevcut açıklamalar doğrultusunda bu kodların entropiye tersinir bakışla değerlendirilmesinin mimaride faydacı nitelikleri besleyebileceği düşünülmektedir. Kavramlar tek tek ele alınarak entropi ile ilişkileri ve canlı mimarlıkta yaratabilecekleri potansiyel faydacı nitelikleri açıklanmıştır.

Bozulma-Çürüme kavramları tasarım sürecinde canlı malzemelerin, dönüşüm odaklı biyolojik etkileşimlerini niteleyebilir. Bu tür etkileşimler malzemelerin ya da canlı mimarlığa ait bileşenlerin işlevsel yönden bozularak çevreyle uyumlanmasını sağlayabilir. Entropik güçlerin canlı organizmalarda yaratabileceği organel düzeyinde bozulma etkileri tasarım sürecinde programın bir parçası durumuna getirilebilir ve hesaplanabilir. Bu şekilde canlı mimarlığın yaşayabileceği bozulmalar kontrollü bir şekilde bir döngü durumuna getirilebilir ve ortamın devamlılığı bozulma-çürüme durumları ile sağlanabilir.

Yıkım kavramı canlı nitelikler gösteren mimarilerin çevreden gelen ve sahip olduğu yıkıcı güçleri niteleyebilir. Canlı niteliğiyle yıkıcı güçlere açık olan mimari yapılar, organel yapı bütünlüğündeki değişimlerle, farklı canlılarla simbiyotik etkileşimler kurabilir. Yıkımın başlattığı bu etkileşim canlı mimarlıkta yapı ve canlı aktörlerin organizma düzeyindeki gelişimini ve devamlılığını sağlayabilir. Entropi yıkıcı güçleri tetikleyen bir faktör olarak canlı mimarlığın yok olması ve yeniden yapılması, yıkıcı güçlerle birlikte ortaya çıkarılması gibi farklı bileşenleri tasarım sürecine dahil edebilir.

Belirsizlik artışı canlı mimarlıkta yapının bütünü, çevre ve mimari aktörler arasındaki belirsiz davranışsal durumları karşılayabilir. Ortamın doğası gereği dağınık ve belirsiz etkileşim türleri yapının biçimsel yapısını değiştirip, geliştirebilir. Bu gelişim belirsiz ilişkilerden beslenerek yapının devamlılığını sağlayan durumları tetikleyebilir. Belirsiz davranışlar ortamdaki ve mimari aktörlerdeki toplam enerjinin denge durumundan kaçınarak entropik güçleri soğurmasına neden olabilir.

Kontrol kaybı kavramı canlı mimarlıkta rastlantısal bir şekilde bulunan aktörlerin tasarımcının belirlediği parametreler yerine, simbiyotik doğal etkileşimlere alan açmasını sağlayabilir. Hava hareketleri, insan ve insan dışı canlıların davranışları, çevrede var olan doğal ve yapay kaynaklar tasarımdaki kontrolün bilinçli olarak kaybedilmesiyle canlı mimarlığın yaşamsal devamlılığına yardımcı olabilir. Entropi yarattığı belirsiz etkileşimlerle tasarımda kontrol kaybını destekleyebilir. Tasarımcılar bilinçli bir şekilde kontrol kaybını ortamın büyümesi, gelişmesi, yenilenmesi yönünde kullanabilir.

Geçicilik-sonluluk kavramları canlı ortamda var olan canlı aktörlerin insan ve insan dışı canlıların birbirleriyle kurduğu geçici ilişkileri yansıtabilir. Durağan ve önceden belirlenmiş tasarım yönlendirmeleri yerine durağan ve esnek olmayan mimarilerin oluşumunu engelleyebilir. Canlı mimarlığa ait bileşenlerin organik olarak sonlu oluşunun ve ortamı deneyimleyen aktörlerin de geçici oluşu yeni ve daha işlevsel yapı elemanlarının, mekanların, yüzeylerin oluşumuna alan açabilir. Entropi canlılık üzerinde yarattığı sonluluk durumunu mimaride tasarım programının başına getirebilir. Bu şekilde tasarımlar değişken ihtiyaçlar karşısında sürekli yenilenebilir.

SONUÇ

Tüm bu kavramların değerlendirilmesi sonucunda, gelişen teknolojiler ve mimarlığı canlandırma idealinin biyolojik gelişmeleri de takip etmesiyle, gelecekte yapıların organik olarak canlanması veya canlılığa çok yakın tepkisel tasarımlar ortaya çıkması öngörülmektedir. İleride canlı mimarlığa ait tasarımların artması ekolojik sistemlerin dengesini sağlayabilir, doğal kaynakların korunumunu destekleyebilir ve insan-insan dışı canlılar için ortak yaşam alanlarının gelişmesine alan açabilir. Günümüzde tasarımcılar bu alanda yeni çalışmalar ortaya çıkarmakta ve canlı mimarlığa ait teorik tartışmalara alan açmaktadırlar. Entropi yasası ise canlıların kurduğu ilişkisel bütünlükle birlikte canlı mimarlığa ait literatürde örtük bir bilgi olarak tartışma konusu yaratmaktadır. Genetik ve biyoloji alanında yaşanan gelişmelerin sentetik hücreleri, sentetik organizmaları kinetik, robotik sistemlerle bir araya getirerek canlı niteliği taşıyan organizmalara oldukça yaklaştırdığı gözlemlenmiştir. Bu yaklaşımın belirgin duruma gelmesi ve canlı sistem olarak yapı davranışlarının durağanlıktan değişkenliğe geçişi ile entropi yasasının düşünsel anlamda mimari ile ortak bir paradigma oluşturması durumunu ortaya çıkarmıştır. Bu inceleme sonucunda entropinin doğasında bulunan düzensiz, belirsiz, dengesiz olay veya durumların canlıların faaliyetlerinde faydacı gelişmelere yol açabileceği açıklanmıştır. Açık sistem olarak canlı mimarlık entropi kavramının nasıl ve hangi yönlerden etkileyebileceğini tanımlamak adına bu tasarımlara entropi objektifinden yaklaşan düşünce sistemleri ve anlatılar ele alınmıştır. Böylelikle canlı mimarlıkta entropi kabulü ile tasarımlarda canlı aktörlerin, canlı mimarlığın, canlı malzemelerin etki altında kalabileceği alanların değişebileceği sonucuna ulaşılmıştır. Çalışmada entropi kavramının yıkıcı ve zararlı nitelikleri yerine yasaya tersinir ve canlıları destekleyici yönden bakan düşünceler irdelenerek mimari ile arasında ilişkisel bir bağ kurulmuştur. Böylelikle canlıların direniş göstererek hayatta kalmayı başardığı entropi yasasının canlı mimarlıkta temel bir kabul ile tasarımları geliştirebileceği ortaya koyulmuştur. Mevcut anlatılar ve düşünce sistemleri üzerinden yapılan analizle entropiye tersinir bakışla bozulma-çürüme, yıkım, belirsizlik artışı, kontrol kaybı ve geçicilik-sonluluk kavramlarının canlı mimarlıkta faydacı nitelikleri geliştirebileceği sonucuna ulaşılmıştır. Bu kavramlar değerlendirilerek yaratabilecekleri değişimler biçim, yapı, malzeme, üretim ve gelişme, mimari aktörler yönünden değerlendirilmiştir.

Gelecek çalışmalarda kavramlar canlı mimarlığın mantıksal bir çerçevede tartışılması adına yeni çalışmaları çerçeveleyebilmek ve araştırmaların çatkısını belirlemek için kullanılabilir. Belirlenen kodlar-kavramlar araştırmacılar veya tasarımcılar tarafından tek tek ele alınabilir. Bu kavramlar yapı malzemeleri, mimari aktörler, yapım veya üretim teknikleri, form-fonksiyon ilişkileri üzerinden değerlendirilebilir. Bu şekilde entropiye tersinir bakışla esnek ve çevreyle uyumlanabilir yapı veya ortamların tasarlanması adına yeni araştırmalar kurgulanarak mevcut bilgi birikimi geliştirilebilir.

KAYNAKÇA

Adamatzky, A., Ayres, P., Belotti, G. & Wosten, H. (2019). *Fungal architecture*. arXiv preprint ArXiv:1912.13262, 1-19. <https://doi.org/10.48550/arXiv.1912.13262>.

Akman, T. (1978). *Enerji ve Entropi*, Bilim ve Teknik Dergisi, 124 (4), 1-48. https://bilimteknik.tubitak.gov.tr/system/files/tamsayi_pdf/1978_3.pdf.

- Armstrong, R. (2014). *Designing with protocells: Applications of a novel technical platform*. Life, 4 (3), 457-490. <https://doi.org/10.3390/life4030457>.
- Armstrong, R. (2018). *Soft living architecture: An alternative view of bio-informed practice*. Bloomsbury Publishing. <https://www.bloomsbury.com/uk/soft-living-architecture-9781350011359/>.
- Armstrong, R. (2014). *Future Venice Projesi* [Görsel]. dezeen. <https://www.dezeen.com/2014/05/30/movie-rachel-armstrong-future-venice-growing-giant-artificial-reef/>.
- Beesley, P. (2019). *White papers 2019*. Riverside Architectural Press. <https://livingarchitecturesystems.com/wp-content/uploads/White-Papers-2019-Web.pdf>.
- Beesley, P. (Ed.). (2014). *Near-living architecture: Work in progress from the hylozoic ground collaboration, 2011-2013*. Riverside Architectural Press.
- Cogdell, C. (2019). *Toward a living architecture?: Complexism and biology in generative design*. U of Minnesota Press.
- Dade-Robertson, M. vd. (2021). *The Ome Projesi* [Görsel]. ncl. <https://www.ncl.ac.uk/press/articles/archive/2019/07/commentbuildingsofthefuture/>.
- Dönmez, B. (2016). *Galeri, V. Ü. S. deneyselin zemininde bir mimarlığı okuma denemesi: Vitruvius üzerinden Serpentine galeri pavyonları okumaları*. [dx.doi.org/10.12658/TLCK.5.1.B017](https://doi.org/10.12658/TLCK.5.1.B017).
- Fernández, A. C. (2017). *Entropy and structure: Re-thinking the Plaza de Armas building as Modernist heritage*. *Materia Architectura*, (11), 98-101. <http://materiaarquitectura.com/index.php/MA/article/view/134/169>.
- Gillen, C. (2016). *New entropy: exposing architectural disorder in contemporary spaces* (Publication No. 10129571) [Doctoral dissertation, Southern Illinois University]. ProQuest Dissertations & Theses Global.
- Groat, L. N. & Wang, D. (2013). *Architectural research methods*. John Wiley & Sons.
- Hamann, H., Wahby, M., Schmickl, T., Zahadat, P., Hofstadler, D., Stoy, K., ... & Wojtaszek, P. Flora robotica-mixed societies of symbiotic robot-plant bio-hybrids. *In 2015 IEEE Symposium Series on Computational Intelligence*, 1102-1109. https://www.researchgate.net/publication/287210438_Flora_Robotica_-_Mixed_Societies_of_Symbiotic_Robot-Plant_Bio-Hybrids.
- Hoffman, M. P. (2012). *Yaşamın kökeni*. Say Yayınları.
- Joachim, M. (2015). *A century of ecological innovation*. *Architectural Design*. 85(4), 68-73. <https://doi.org/10.1002/ad.1928>.
- Joackhim, M. vd. (2015). *Terreform ONE Projesi* [Görsel]. terreform. <https://www.terreform.org/in-vitro-meat-habitat>.
- Khan, M. Y. (1985). *On the importance of entropy to living systems*. *Biochemical Education*, 13(2), 68-69. [https://doi.org/10.1016/0307-4412\(85\)90010-X](https://doi.org/10.1016/0307-4412(85)90010-X).

Lovelock, J. (2017). *Gaia: dünyadaki yaşama yeni bir bakış*. Alfa Yayınları.

Mussett, S. M. (2022). *Entropic philosophy: chaos, breakdown, and creation*. Rowman & Littlefield Publishers.

Rifkin, J. & Howard, T. (1980). *Entropy: a new world view*. The Viking Press.

Shusterman, R. (2012). *Anish Kapoor and the anti-entropy of art*. European Society for Aesthetics, 4. <https://proceedings.eurosa.org/4/shusterman2012.pdf>.

Songar, A. (1979). *Enerji ve hayat*. Yeni Asya Yayınları.

Spiller, N., & Armstrong, R. (2011). *Protocell architecture*. John Wiley & Sons.

Terraform1s. (t.y.). *In vitro meat habitat*. <https://www.terreform.org/in-vitro-meat-habitat>.

The Ome. (t.y.) *Work begins on experimental living building* <https://www.northumbria.ac.uk/about-us/news-events/news/work-begins-on-experimental-living-building/>.

Udgaonkar, J. B. (2001). *Entropy in biology*. Resonance, 6(9), 61-66. <https://www.ias.ac.in/article/fulltext/reso/006/09/0061-0066>.

Weiner, N. (1975). *Emek Sibernetik ve Toplum*. Özgün Yayınları.