

Mikrodenetleyici Sistemlerin Kullanımı ile Etkileşimli Mekân Çözümlerinin İç Mekân Tasarımında Sunduğu Güncel Olanak ve Kısıtlar

Current Possibilities and Constraints of Interactive Space Solutions with the Use of Microcontroller Systems in Interior Design

Sencer ÖZDEMİR¹, Burçin Cem ARABACIOĞLU²

Gönderilme Tarihi: 05.10.2022- Kabul Tarihi: 29.12.2022

Özet

Her bireyin kendi ihtiyaçlarını üretebileceği bir yaşam vizyonu sunan Üreten hareketi, Endüstri 4.0 dönemiyle kullanıcıların yaşam alanlarının tasarımında yer bulmaya başlamıştır. Özellikle Arduino gibi kullanıcı dostu ara yüzlere sahip mikrodenetleyicilerle akıllı ev konsepti içerisinde etkileşimli mekân öğeleri planlamak mümkündür. Bu durum, mikrodenetleyici tabanlı etkileşimli mekânların tasarım sürecinde biçim dili ve işleve etki eder. Gelecekte etkileşimli mekânların tasarımlarında mikrodenetleyici sistemlerinin sınırlarının anlaşılması önem arz ettiği için, bu çalışmada iç mimarlar ve tasarımcıların etkileşimli mekân tasarımı sürecinde mikrodenetleyicilerden ne şekilde faydalanılabilecekleri incelenmiştir. Çalışma, “üreten” olarak tanımlanan kullanıcılar tarafından tasarlanmış etkileşimli mekân ve öğelerinin biçim ve işlevlerini analiz ederek tasarımcılar için yararlı tasarım yöntemlerinin önerilmesini amaçlamaktadır. Nitel bir araştırma olan bu çalışmada, ilişkisel tarama yönteminden yararlanılmıştır. Çalışma sonucunda iç mimarların mikrodenetleyici temelli mekânların tasarım sürecinde izleyebilecekleri yollara dair kinetik mekân öğeleri ve etkileşimli yüzeyler gibi yöntemler sunulması hedeflenmiştir. Çalışmanın sonunda bu teknolojilerin olanakları, kısıtları ve olası önerilerle ilgili bulgular ortaya konmuştur.

Anahtar Kelimeler: Etkileşimli mekân tasarımı, Otomasyon, İç mimarlık, Maker hareketi, Akıllı ev.

Abstract

Maker movement that presents a life vision of people whom producing their needs started to appear in the design of users' environments with the Industry 4.0. Especially it is possible to plan interior elements and systems for the smart home concepts with microcontrollers that have user friendly interfaces like Arduino. That situation also affects design process, morphology and function of microcontroller-based interactive interiors. Understanding the limits of the microcontrollers for designing the interactive spaces in the future is essential, therefore purpose of this research is examining the ways to benefit microcontrollers during interactive interior design process in housing for interior designers. Study analyses the morphology and the functions of the interactive interiors and spatial elements designed by the makers and proposes useful design methods for the designers. As a qualitative research, relational screening method has been used in the study. As a result of the study, it is aimed to present methods that interior designers can follow in the design process of microcontroller-based spaces such as kinetic space elements and interactive surfaces. At the end of the study, findings on the possibilities, limitations and possible recommendations of these technologies were presented.

Keywords: Interactive space design, Automation, Interior design, Maker movement, Smart home.

Atf: Özdemir, S. ve Arabacıoğlu, B. C. (2022). Mikrodenetleyici sistemlerin kullanımı ile etkileşimli mekân çözümlerinin iç mekân tasarımında sunduğu güncel olanak ve kısıtlar. *Modular Journal*, 5(2), 203-224.

¹ MSGSÜ, İç Mimarlık Bölümü, Doktora Programı, sencerozdemir@gmail.com | ORCID: 0000-0003-2364-0783

² MSGSÜ, İç Mimarlık Bölümü, burcin.arabacioglu@msgsu.edu.tr | ORCID: 0000-0002-1204-4479

1. Giriş

İkinci Dünya Savaşı'nda kullanılan transistörlerin geliştirilmesiyle ortaya çıkan mikroişlemciler, beraberinde bilgisayar teknolojisinin doğuşunu ve üçüncü endüstriyel devrimi başlatmıştır. Bilgisayar teknolojilerinin internet altyapısıyla evrimleşmesi ise Endüstri 4.0 olarak isimlendirilen yeni bir devrime yol açmıştır. Bu dönemde ortaya çıkan ve kullanıcıların ihtiyaçlarını üretebildiği bir yaşam vizyonu sunan maker (üreten) hareketi, tasarım alanında yer edinmeye başlamıştır. Kullanıcılar tarafından tasarlanan etkileşimli mekân konseptleri incelendiğinde; mikrodenetleyiciler üreten hareketinin önemli bir parçası olarak gözlemlenmektedir. Ren (2021)'e göre mikrodenetleyiciler farklı alanlarda kullanılacak ucuz ve farklı uygulamalara olanak veren basit programlama ara yüzüne sahip bilgisayarlardır. Taşdemir (2012)'e göre fiziki dünyayla etkileşime geçebilecek otomasyon sistemlerin kurgulanmasında kullanılan, mekândaki değişimleri sensörlerle tanımlayıp eyleyicilerle cevaplayan kolay programlanabilir bilgisayar çiplerine mikrodenetleyici denmektedir. Mikrodenetleyiciler karmaşık yazılım dilleri yerine temel İngilizceyle programlanabilecek basitlikte sistemler olduğundan, kullanıcıların yaşam alanlarını değiştirebileceği etkileşimli tasarımlar için kolaylık sağlarlar. Kısacası mikrodenetleyiciler etkileşimli sistemler tasarlamak ve bu sistemleri “Nesnelerin İnterneti” (Internet of Things, IoT) konseptine göre kurgulamak için kullanılan kullanıcı dostu teknolojiler olarak tanımlanabilir. Mikrodenetleyicilerle mekân öğeleri ve mobilyalar sensörlü ve mekanik sistemlerle donatılabilir, otonom hale getirilebilir, ana işlevlerinin dışında çeşitli sistemleri kontrol edebilen ara yüzlere dönüştürülebilir ve akıllı telefonlar gibi cihazlarla kontrol edilebilirler. Çalışmada bu teknolojinin mekân tasarımı üzerindeki etkileri, mikrodenetleyicilerin ortaya çıkışı, fiziksel programlama, akıllı ev kavramıyla bu sistemlerin ilişkisi ve son olarak bu sistemlerin mekân tasarımında sunduğu olanaklar ve kısıtlar başlıklarında irdelenmiştir.

Çalışma, etkileşimli yaşam alanlarının tasarım süreçlerinde iç mimarların mikrodenetleyicilerden ne şekillerde yararlanabileceklerini, tasarımlarına nasıl uyarlayabileceklerini ve böylece yaratımlarında nasıl farklılaşabileceklerinin anlaşılmasını sağlayacağından önem arz etmektedir. Bu teknolojilerin avantaj ve dezavantajlarının tasarımcılar tarafından bilinmesi; mikrodenetleyici temelli mekânlarda yenilikçi biçim ve işlevlerin kurgulanmasını kolaylaştıracağından önemli bir araştırma konusudur.

2. Materyal ve Yöntem

Araştırmada etkileşimli mekân tasarımı sürecinde mikrodenetleyicilerin mekânın biçimi ve kullanımına etkileri ilişkisel tarama yöntemi kullanılarak incelenmiştir. Bu amaçla Researchgate, Academia ve Google Scholar dizinlerinde “etkileşim tasarımı, etkileşimli mekân tasarımı, mikrodenetleyici uygulamaları, Arduino uygulamaları, akıllı ev” gibi konuyla bağlantılı anahtar kelimeler taratılmış ve araştırma içeriğine uygun olan çalışmalar incelenmiştir. Bu incelemelerde mikrodenetleyicilerin toplayabildiği veri türleri ve bu verilere cevap verme metotları, mikrodenetleyicilerin kullanıldığı etkileşimli mekân öğeleri ve mekânda tasarım açısından getirdikleri yenilikler gibi sorulara yanıtlar aranmıştır.



Şekil 1. Araştırma yöntemi diyagramı (Özdemir ve Arabacıoğlu)

Nesnelerin İnterneti temelli mekân altyapıları ve etkileşimli kişiselleştirme olgusu iç mimaride yeni bir dönemi başlatmaktadır (Arabacıoğlu ve Aytıs, 2016). Gelecekte bilgisayar sistemlerinin mekân tasarımlarından bağımsız düşünülmemeyeceği varsayıldığında, mikrodenetleyicilerin sağlayacağı etkileşim çözümlerinin iç mimaride öneminin artacağı öngörülebilmektedir. Bu öngöründen hareketle çalışmada üreten olarak tanımlanan kullanıcı tipinin yaşam alanları için tasarladıkları mikrodenetleyici tabanlı etkileşimli mekân çözümleri irdelenmiştir. Süreçte, mekân tasarımında uygulanan çözümler kadar üreten hareketinden etkilenen sanatçıların enstalasyonlarına da değinilmiştir. Çalışma üreten hareketi üzerinden ilerlediği için, etkileşimli mekân tasarımı çözümleri sunan otomasyon firmalarının çalışmaları kapsamı dışında tutulmuştur.

3.Bulgular

3.1 Mikrodenetleyicilerin Ortaya çıkışı

Endüstriyel devrimden bu yana birçok teknolojik atılım yaşanmıştır. Özellikle elektronik sistemlerin ortaya çıkışıyla etkileşime geçtiğimiz mekânlar ve objeler büyük bir evrim geçirmiştir. 2000 yılından itibaren modern dünya; dijital teknolojilerin yarattığı sosyal etkileşimlerle kullandığımız fiziki ürünler, hizmetler ve mekânlarda olduğu gibi sanal ortamda da tanımlanabilir hale gelmektedir (Anderson, 2012). Bu dönemde etkileşimlilik ve etkileşim yoluyla kişiselleştirme kavramları internetle paralel olarak yaygınlaşmaktadır. İnternetin gelişimiyle standart bilgisayar ara yüzleri ötesinde kullanıcıyı algılayabilen, hatırlayabilen ve kullanıcıya tepki verebilen yazılımlar ve cihazlar ortaya çıkmıştır (Arabacıoğlu, 2014).

Elektronik alanındaki atılımların başlangıcı transistörün keşfidir (Taşdemir, 2012). Özellikle mikroçiplerin gelişmesiyle birim alana daha fazla transistör yerleştirilebilmesi elektronik sistemlerin işlevlerini arttırmış ve çok işlevli mikroişlemciler ortaya çıkmıştır. Endüstri 4.0 döneminde mikroişlemciler sadece bilgisayarlarda değil, gündelik yaşamda kullanılan cihaz ve mekânların içerisinde bulunarak bu yapıları akıllı hale getirmektedirler.

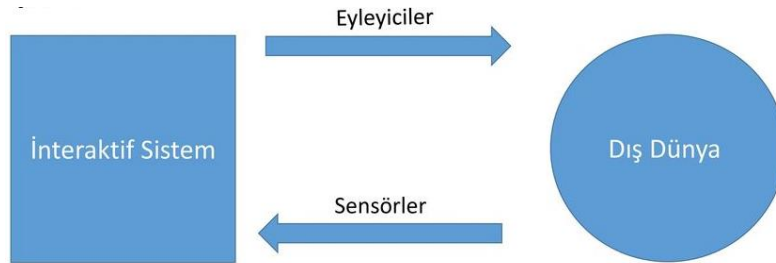
Bu durum, mühendisliğin alanına giren elektronik sistemlerin tasarımcıların ilgisini çekmesine sebep olmuştur. Yenilikçi fiziksel ve görsel tasarımlara olanak sağladığı için fiziksel dünyayla etkileşime giren elektronik sistemler tasarım süreçlerinde değer kazanmaktadır (Taşdemir, 2012). İnternetin gelişmesiyle iletişim organlarının artışı, tüketicilerin fiziksel ürünlerde teknolojik tasarım beklentilerini arttırmaktadır (Anderson, 2012). Ayrıca teknolojik atılımlarla ortaya çıkan üç boyutlu yazıcılar ve kolay öğrenilebilen yazılım dilleri ile bireysel bir üretim devrimi başlamış ve kullanıcılar ihtiyaçlarına yönelik tasarımlar yapabilir duruma gelmiştir. Bu olgu Öztürk ve diğerlerinin (2017) bahsettiği üzere yapım, yaratım ve tasarım yoluyla yenilikler üretmeyi hedefleyen “Üreten” hareketiyle önem kazanmıştır.

Mekân tasarımının tanımı endüstri 4.0 döneminde kullanıcıların kişilik ve karakteristiklerini yansıtan alanların tasarımına evrimleşmiştir. Kullanıcıların farklılaşma talepleri, yaşam alanlarını oluşturan mekânların ihtiyaçları dahilinde özelleştirilmesi gerekliliğini ortaya çıkarmaktadır. Toplu konutlar gibi standartlaşmanın yüksek olduğu mekânlarda dahi kullanıcıların mekânı ihtiyaçlarına göre kişiselleştirmesi olağandır (Arabacıoğlu, 2014) Değişen kullanıcı tipleri mekânın da kullanıcılara göre değişmesine sebep olmaktadır (Kim vd., 2016). İç mimaride otomasyon sistemlerinin mekânlara uyarlanmasıyla etkileşimli tasarımlar yaratılmakta, mekânlar ekonomi ve konfor hedefleriyle kişiselleştirilebilmektedir.

Mekân tasarımı sürecinde etkileşimlilik tasarımcılar açısından önemli bir kavramdır. Kullanıcı isteklerine göre çalışan mekanik ve elektronik aydınlatmalar, medya üniteleri, otomasyon araçları ve IoT tabanlı akıllı ve modüler mobilyalar; mekân tasarımındaki önemli yeniliklerdir (Arabacıoğlu, 2014). Bu açıdan bakıldığında tasarımcıların mekân tasarımında mikrodnetleyiciler yardımıyla ortaya koyabilecekleri etkileşimlilik arttıracak çözümleri belirleyebilmesi gerekmektedir. Bu teknolojilerin kapasitelerinin belirlenmesi amacıyla öncelikle mikroişlemciler ve fiziksel programlama platformlarının işlevlerinin tanımlanması yararlı olacaktır.

3.2 Mikrodnetleyiciler ve Fiziksel Programlama

Dijital yazılımlar sanal ortamda işlemler yaparlar. Bundan farklı olarak dış dünyayla etkileşimli sistemlerin programlamasına “fiziksel programlama” denmektedir (Taşdemir, 2012). Bu sistemler fiziksel dünyada meydana gelen sıcaklık, ses, ışık, hareket ve dokunma türevi etkileşimlerin oluşturduğu verileri sensörlerle sayısal verilere dönüştürerek sanal ortama aktarırlar. Sonrasında veriler analiz edilip işlenerek eyleyiciler aracılığıyla tekrardan dış dünyayı etkileyecek şekilde iletilirler.



Şekil 2. Mikrodnetleyicilerin çalışma prensibi (Taşdemir, 2012)

Arabacıoğlu (2005)'na göre mekânları ve ürünleri akıllı hale getiren olgu bu yapılara uyarlanan elektronik ve mekanik sistemlerdir; bu sistemleri senkronize şekilde organize eden ve iletişimlerini sağlayan otomasyon merkeziyse sistemin beynidir. Endüstri 4.0 dönemiyle mikrodnetleyiciler ürün ve mekânlarda otomasyon işlevleri için gömülü sistemler olarak kurgulanabilmekte ve otomotivde araç içi sistemlerden ev eşyalarına ve mekân otomasyon sistemlerine kadar geniş bir yelpazede kullanılmaktadırlar.

Mikrodnetleyiciler kullanıcı ihtiyaçlarına göre geliştirilebilir halde açık kaynak kodlu cihazlardır. Yazılımlarda başlayan açık kaynak kodlu sistemler Endüstri 4.0 döneminde etkileşimli ürün ve mekânların kurgulanması amacıyla herkesin ulaşabileceği hale gelmiştir. Arduino ve Raspberry Pi gibi mikrodnetleyiciler etkileşimli tasarımlarda yaygın olarak kullanılmaktadırlar.

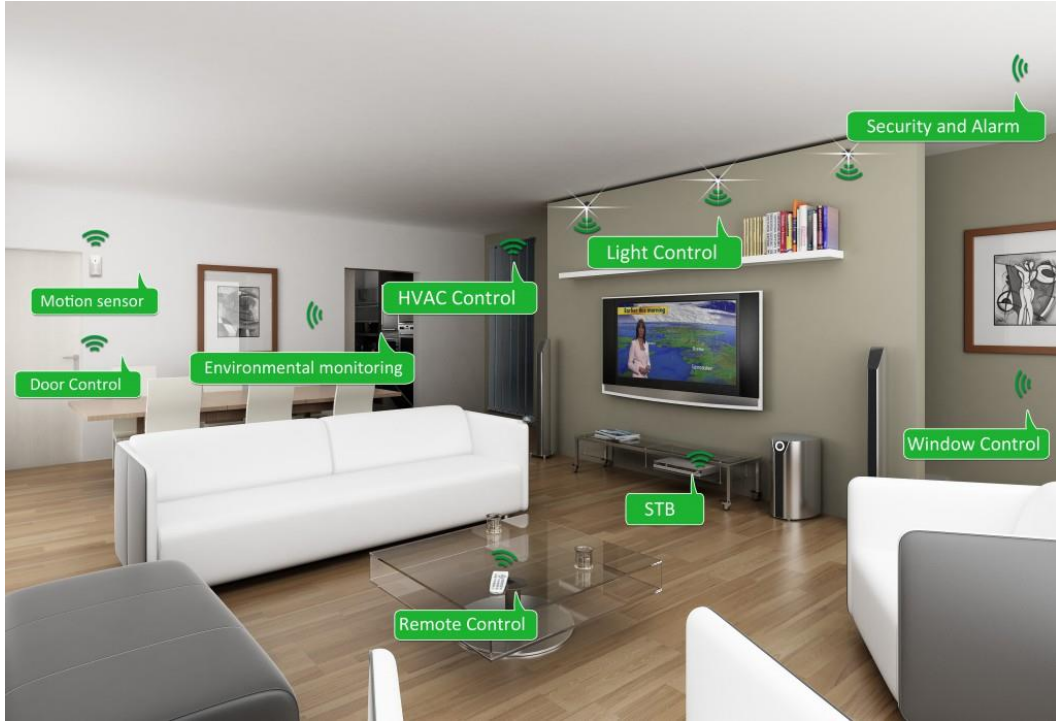
Etkileşimli tasarımlar açısından incelendiğinde, FabLab gibi kuruluşların sağladığı döküman paylaşımları ve eğitimler sayesinde mikrodnetleyicilerin programlamasını öğrenmek yaygınlaşmış ve bireysel tasarımlar yapılması kolaylaşmıştır (Saint-Clair, 2014). Bu sebeple bu tür fiziksel programlama sistemlerinin “kendin yap” konseptli tasarımlara olanak sağlaması kaçınılmazdır.

İnteraktif sistemlere imkân veren mikrodnetleyicilerin akıllı yaşam alanlarının tasarımında sunacağı çözümleri incelemek için öncelikle akıllı bina kavramını incelemek doğru olacaktır.

3.3 Akıllı Ev Kavramı ve Mikrodnetleyicilerin Bu Alandaki İşlevleri

Ev otomasyonu ya da akıllı ev kavramı; mekânların ısıtma, havalandırma, aydınlatma ve benzeri sistemlerinin otomatik veya kullanıcı kontrollü bir yönetim sistemiyle idare edilmesidir. Ortaya çıktığı dönemlerde enerji verimliliği ve güvenlik gibi kriterler ön planda olsa da teknolojinin ilerlemesiyle akıllı mekânlarda konfor da önemli hale gelmiştir (Irak vd., 2019). Endüstri 4.0 döneminde kumandalı cihazlarla aydınlatma, televizyon, kapılar, pencereler ve ev aletleri gibi öğeler kontrol edilebilmektedir.

Teknolojinin gündelik yaşamda kullanım alanlarının artmasıyla kablosuz sistemlere yönelim artmıştır. Uzaktan kumanda ve akıllı telefon gibi cihazlar konutlardaki sistemlerin takibi ve kontrolü açısından kolaylıklar sağlamaktadır. Android temelli mikrodnetleyici sistemlerle konutlarda otomasyon sağlanabilmektedir (Yusuf ve Baba, 2014). IoT kavramıyla beraber mekân otomasyonu her an her yerden ulaşılabilir hale gelmiştir (Gunge ve Yalagı, 2016). Bu tür mekânlarda mikrodnetleyicinin görevi genellikle mekândaki ısı, havalandırma, ışık benzeri etki odaklarını sensörlerle dijital ortama geçirmek ve analizlerle kullanıcıların yaşam kalitesini arttıracak uyarılarda bulunmaktır. Ayrıca mikrodnetleyicilerin sahip olduğu veri toplama yöntemleri mekândaki güvenlik önlemlerinin tasarlanmasında yarar sağlar. Örneğin konut içerisinde ya da fabrikalardaki gaz kaçaqları takip edilebilir (Yan ve Rahayu, 2014). Mikrodnetleyiciler yardımıyla kullanıcılar kendi ev otomasyonu kurgularını sağlayabilir. Örneğin mikrodnetleyici kontrollü termostatlar evdeki ısı değişimini kullanıcılara göre planlayabilir, kapılar kumandalarla kilitlenebilir, perdeler hava durumuna göre hareket edebilir ve güvenlik sistemleri kullanıcı evde değilken konut hakkında bilgi sağlayabilir (NXP, 2013). Endüstri 4.0 döneminde IoT olgusunun gelişmesi ve tüketici talepleri yaşam alanlarında otomasyon çözümlerini arttırmaktadır.



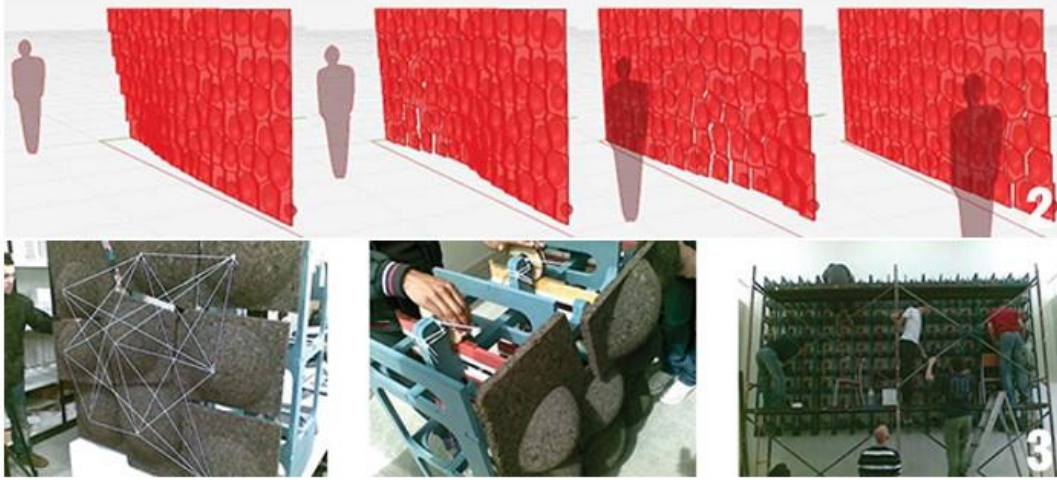
Şekil 3. Akıllı ev otomasyonu (NXP, 2013)

Mikrodenetleyicilerin etkileşimli mekân tasarımlarına etkileri incelenirken, bu sistemlerin olanak ve kısıtlarının irdelenmesi yeni tasarım konseptlerinin sınırlarının belirlenmesinde yarar sağlayacaktır.

3.4 Mikrodenetleyicilerin Etkileşimli Mekân Tasarımı Sürecinde Sunduğu Olanaklar

İç mekânlar, genelde görsel ve işlevsel değişimler için tasarımcı etkisine ihtiyaç duyan statik doğaya sahip olduklarından dinamik ve etkileşimli mekân tasarımları popülerleşmektedir (Nabil vd., 2017). Arabacıoğlu etkileşimli mekânların teknolojik altyapısı ve otomasyon sistemlerinin doğası sebebiyle geleneksel mekânlara göre statik değil, dinamik yapıya sahip olduğundan bahsetmektedir (Arabacıoğlu, 2015). Etkileşimli mekânlar, kullanıcıların uzun dönemli ihtiyaçlarını karşılayabildiği gibi, anlık değişimlere de uyarlanabilirler. Ayrıca etkileşimli mekânlar bilgisayar altyapısı ve sensörlerle kullanıcıları tanımlayabilir ve özelleşmiş etkileşimler sunabilirler (Arabacıoğlu, 2008). Mikrodenetleyiciler ayrıca mekândaki değişkenleri inceleyip buna göre hareket ederek kullanıcı taleplerine cevap verebilmektedir. Duvar, zemin, tavan, kapı ve pencere benzeri öğeler mikrodenetleyicilerin sağladığı özelliklerle estetik ve işlevsellik açısından geliştirilip etkileşimli hale getirilebilir.

Duvarlar ve tavanlar ambiyans değişimlerini sağlayacak donanımlarla, projeksiyonlarla, LED sistemlerle etkileşimli hale getirilirken aynı zamanda mekânda separatör gibi kullanılabilirler. Şekil 4'te FabLab tarafından tasarlanmış mikrodenetleyici temelli duvar sistemi separatör görevi gördüğü gibi, kullanıcının mesafesine göre etkileşim göstererek mekânın biçimini değiştirmektedir (Brito, 2012).

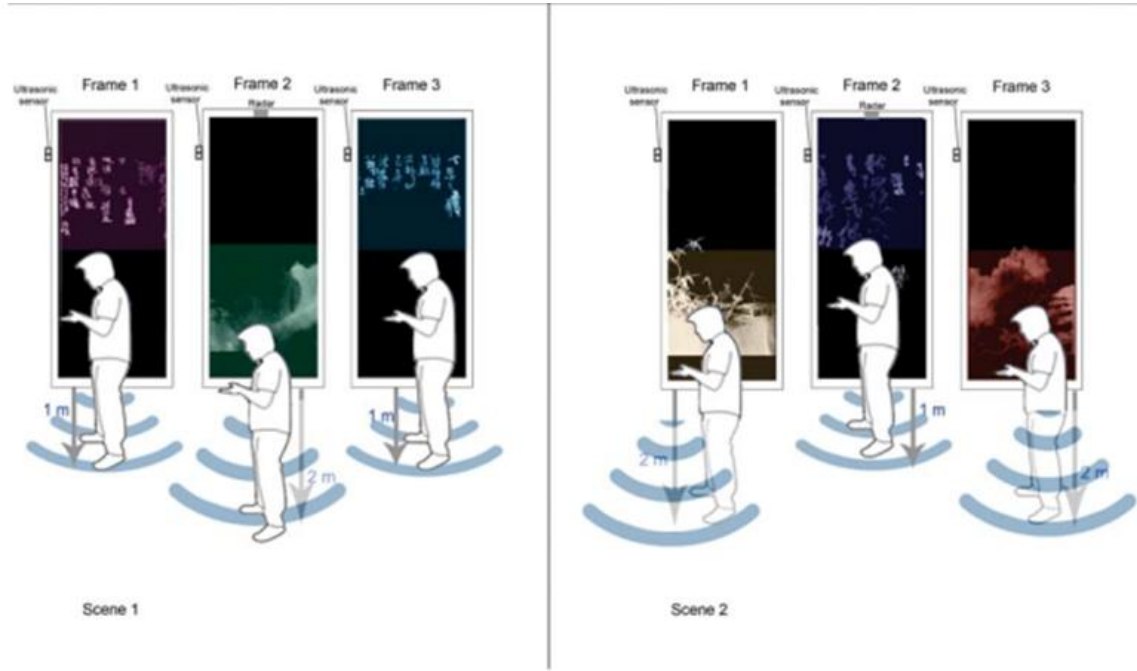


Şekil 4. Fablab enstalasyonu (Brito, 2012)

Ayrıca mekândaki mobilya ve dekorasyonlar da mikrodenetleyicilerle etkileşimli hale getirilebilirler (Nabil vd., 2017). Örneğin Ziqian'ın incelediği polimerik optik fiberden (POF) üretilen kumaş perdeler etkileşimli mekân oluşturacak fikirlerden birisidir (Ziqian, 2015).



Şekil 5. POF kumaştan perde tasarımı (Ziqian, 2015)



Şekil 6. POF kumaş interaktif duvar kaplamaları (Ziqian, 2015)

Ziqian'ın duvar kaplamalarında Arduino tabanlı POF kumaşın kullanımı üzerine kurguladığı konseptte ultrasonik sensörler kişinin uzaklığını hesaplamakta ve kullanıcı konum değiştirdikçe duvardaki desenler değişim göstermektedir (Şekil 6). Bu bağlamda mikrodenetleyicilerin etkileşimli mekân tasarımlarında kullanıcı ile etkileşimi ön plana çıkarmaktadır.

3.4.1 Mekânın Tamamında Etkileşim Sağlama

Mikrodenetleyiciler gündelik yaşamda kolayca erişilebilecek cihazlar olduğundan mekânda her alanda kurgulanarak etkileşimlilik artırılabilir. Mekândaki yüzeylerin teknoloji sayesinde aynı zamanda ara yüz olarak kullanılabilmesi yaşam alanlarında insan-makine etkileşiminin artmasına olanak sağlamaktadır (Nabil vd., 2021). Örneğin Clarkson'ın tasarladığı mikrodenetleyici kontrollü bulutlar, fırtına ambiyansı yaratabilmekte ve jestleri sensörlerle algılayıp ses ve ışık yoluyla etkileşime geçebilmektedir. (Arduino Team, 2016). Lines enstalasyonunda mikrodenetleyicilere bağlı sensörlerle kullanıcı mekândaki renkli bantlara dokunarak notalar çalabilmekte, mekânı enstrüman olarak kullanabilmektedir (Voices of U, 2016). Anarchy Dance Theater enstalasyonunda (Collabcubed, 2012) mikrodenetleyici tabanlı sensörler ve videomapping uygulamaları tüm mekânı etkileşimli hale getirmektedir.



Şekil 7. Clouds aydınlatma (sol üst) (Arduino Team); Anarchy Dream Theater (sağ üst) (Voices of U), Lines enstalasyonu (alt) (Collabcubed)

Şekil 7’de görüldüğü üzere mikrodenetleyici temelli eyleyiciler ve sensörler çeşitli donanımlara uyarlanarak mekâna uygulanabilmekte ve böylece tüm mekân etkileşim aracına dönüştürülebilmektedir.

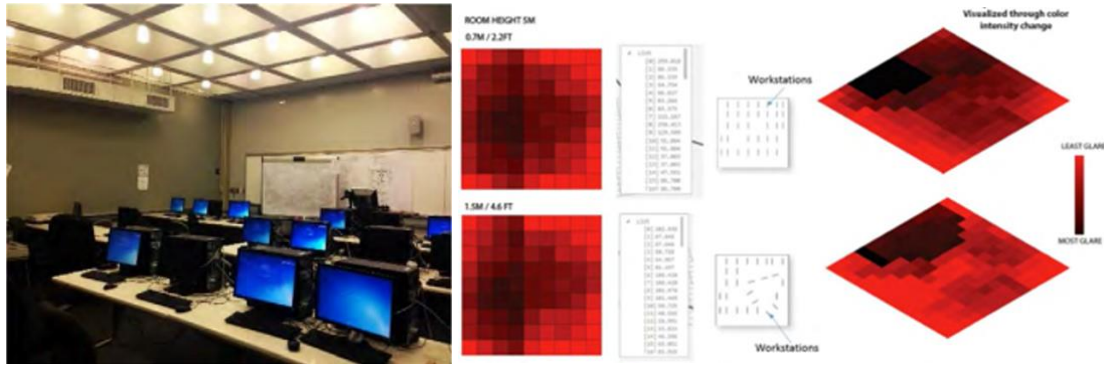
3.4.2 Mekân ve Kullanıcıların Birbirlerini Algılamasını Sağlama

Mikrodenetleyiciler mekânlardaki aktivitelerin kullanıcılar için algılanmasını kolaylaştırır. Benzer şekilde mekân da mikrodenetleyicilerle kullanıcılar tarafından yaratılan değişimleri algılayabilir ve buna göre hareket edebilir. Örneğin CartonLab’ın interaktif aydınlatma projesi kullanıcı hareketlerini sensörlerle algılayarak mekânda yoga seansı düzenlendiğini veya resim sergisi yapıldığını anlamakta ve ışıkları ayarlayarak kullanıcıları takip edip yönlendirebilmektedir (CartonLab, 2016). Benzer şekilde Voronoi enstalasyonunda duvara konuşlandırılan mekanizma kullanıcı yaklaştıkça ışıklarla dikkat çekmekte ve kullanıcının mesafesine göre hareketlerini algılayıp kanat ve ışıklarıyla etkileşime girmektedir. Böylece kullanıcı sistemi algılayıp etkileşime girebilmektedir (Damian, 2017).



Şekil 8. CartonLab aydınlatma (sol) (CartonLab), Voronoi etkileşimli yüzey (sağ) (Damian, 2017)

Mikrodenetleyiciler varlık, ısı ve ışık sensörleriyle mekânın kullanım verilerini toplayabilmektedir. Böylece veriler mekânın güncelleştirilmesini ve kullanım kalitesinin artırılmasını sağlayabilmektedir (Majhi vd., 2021). Örneğin Georgia Tech'in bilgisayar laboratuvarında aydınlatmalar kullanıcı konumlarını grafiğe dönüştürür ve bu veriyle ışık seviyesini ayarlar (Dutt vd., 2016) (Şekil 9).



Şekil 9. Etkileşimli Tavan Aydınlatması ve Grafik Analizi, Dutt, 2016

Pandemide evdeki sirkülasyonu algılayan ve buna göre dezenfekte işlemlerini gerçekleştiren G.L.A.M.O.U.R.o.U.S. (CERN-OHL2, 2019) ve EEG sensörleriyle beyin dalgalarını algılayıp görüntü ve seslerle iletişim kurabilen 2ch (Arduino Team, 2016) gibi örnekler mikrodenetleyicilerin kullanıcıları algılama, verileri analiz etme ve bu yolla etkileşimliliği sağlanma açısından yararını betimleyebilirler.



Şekil 10. G.L.A.M.O.U.R.o.U.S. (sol) (CERN-OHL2), 2ch (sağ) (Arduino Team)

3.4.3 Dinamik Doğaya Sahip Olma

Etkileşimli akıllı bina sistemleriyle mekânlar esnek hale gelecek şekilde giydirilebilmektedir (Arabacıoğlu ve Aytıs, 2016). Özellikle akıllı malzemeler etkileşimli ara yüzlerin şekillenebilir, deforme edilebilir, renk ve boyut değişimini sağlayabilir hale gelmesini sağlar ve geleneksel mimarinin ötesinde dinamik mekânlara olanak tanır. Nabil (2017) bu tür dinamik doğaya sahip mekânları kinetik mekân olarak tanımlamaktadır. Mikrodenetleyicilerle akıllı malzemeler kontrol edilerek kullanıcı taleplerine göre ortamın anlık olarak değişmesi sağlanabilir.



Şekil 11. Etkileşimli çay odası (sol) (Ito, 2013), Morpholuminescence (sağ) (ProjectOne)

Örneğin Shari Shari tasarımı kinetik çatı teknolojisiyle bir Japon çay odasının dinamik olarak biçim değiştirmesi sağlanmıştır. Hareketli çatı kaplamaları ve ısı sensörleriyle mekân kullanıcının taleplerine göre biçimlenebilmektedir (Ito, 2013). Benzer şekilde MorphoLuminescence çalışması servomotorlarla yapraklarını hareket ettirerek tavan yüksekliğini ve ışık değerlerini ayarlayabilmektedir (ProjectOne, 2009). Görüldüğü üzere mikrodenetleyicilerle mekânlar gelenekselleşmiş statik mantığın dışında dinamik hale gelebilmekte ve etkileşimlerini arttırabilmektedirler.

3.4.4 Mekân Öğelerini Ara Yüzlere Dönüştürerek Etkileşimi Düşük Öğelerin Etkileşimini Arttırma

Mikrodenetleyici tabanlı mekânlarda önceden etkileşime girilemeyen öğeler teknoloji yoluyla etkileşimli hale getirilebilir. Örneğin konutun enerji tüketimi mekân unsurlarının renk değiştirmesiyle görselleştirilebilir (Nabil vd., 2017). Mekânda önceden yeterince etkileşimde bulunulmayan objeler teknolojik olarak geliştirilebilir; Seo (2015)'nin Touchology çalışmasındaki gibi bilgisayar sistemleri için ara yüz işlevleri kazandırılabilir (Şekil 12). Çalışmada mikrodenetleyicilerle normalde tepkileri ölçülemeyen bitkilerin dokunma, hareket, ışık, nem gibi etkenlere tepkileri ölçülmekte ve animasyonlarla etkileşim arttırılmaktadır (Seo vd., 2015).



Şekil 12. Touchology İnteraktif bitki sistemi (Touchology, 2015)

Mikrodenetleyicilerle duvar ve tavan gibi sık etkileşime girilemeyen öğeler ara yüzlere dönüşebilirler. Örneğin Whyfactory'nin çalışmasında, duvara yansıtılan görseller ara yüz görevi görebilmektedir (KTH, 2014). SprayableTech çalışmasında kullanıcılar iletken sprej boyaları kullanarak istedikleri alanları boyamakta ve bu alanları ara yüz olarak işlevlendirmektedirler (Gordon, 2020).



Şekil 13. Nature Trail, (sol, Bruges, 2012); Ara Yüz Duvar, (orta, URL-13), Sprayable Tech (sağ, KTH).

Ormond Hastanesi'nde kullanılan, dokunuldukça duvarlarda dijital hayvanların dolaşması sağlanarak hastaların psikolojisinin iyileştirmeyi amaçlayan Nature Trail de (Bruges, 2012) mekânların etkileşiminin ve işlevselliğinin artırılmasında mikrodenetleyicilerin sunduğu çözümlere bir örnektir.

3.4.5 Mekânda Sürdürülebilirliği Arttırma

Mikrodenetleyiciler sürdürülebilir ev otomasyonunda sıkça kullanılmaktadır. Ev otomasyon hizmeti veren firmalar olsa da kullanıcıların özgün sürdürülebilir ev otomasyonu kurgularını oluşturmaları açısından mikrodenetleyiciler bir tercih öğesidir (Mukendi ve Adonis, 2018). Mikrodenetleyiciler sensörlerle mekândaki hareket, ışık seviyesi, ısı gibi faktörleri algılayabildiğinden, mekânın enerji tüketimini kontrol ederler ve düşük maliyetle sürdürülebilirliği sağlarlar. Örneğin Enerji Korunumlu Akıllı Bina (ESSB) projesinde Arduino sistemi konuttaki cihazların enerji tüketimi takip etmekte ve kullanılmayan cihazları kapatarak enerji korunumu sağlamaktadır (Giacobbe vd., 2017). Mikrodenetleyici temelli otomasyon sistemleri alternatif enerjiden yararlanmakta da kullanılabilir. Örneğin Amit'in ev otomasyonu için güneş enerjili projesi örnek gösterilebilir (Amit vd., 2019). Ayrıca Isicht Mons örneğinde görüleceği üzere;

mikrodenetleyici denetimli otonom seralara sahip kendine yetebilen ev konseptleri de görülebilmektedir (Arduino Expert, 2016).



Şekil 14. Mikrodenetleyici temelli sera (Arduino Expert).

3.4.6 Mekânın Kişiselleştirilebilmesi ve Özelleştirilebilmesi

Gelenekselleşmiş mekân anlayışında mobilyalar, objeler, sanat eserleri, bitkiler ve aksesuarlar mekânın özelleştirilmesinde ve kişiselleştirilmesinde önem taşır (Arabacıoğlu, 2005). Endüstri 4.0'la teknolojik öğeler mekânların özelleştirilmesinde önemli yer edinmektedir. Özellikle mikrodenetleyicilerle kişiye özel kullanıcı dostu etkileşimler yaratılabilmektedir. Örneğin Londra Tasarım Haftası'nda sunulan videomapping çalışmasında mekânın kullanıcı profillerine göre değişebilmesi mümkün hale getirilmiştir (DrawLight, 2014). Nike'in sensörlerle izlenen etkileşimli koşu pistindeyse koşucuların antrenman verisi tutulmakta ve böylece kullanıcıların LED'li duvarda beliren avatarlarıyla yarışabilmesi sağlanmaktadır (Mashable, 2017). Bu tür uygulamalar sadece mekânda değil, Visual Group'un kişiselleştirilebilir videomapping sistemli mobilya çalışmasında (Visual Group, 2010) ve kullanıcıya göre ara yüzleri değişen akıllı sehpa Mozayo'da olduğu gibi (Spintouch, 2022) mekândaki mobilyalarda da özelleştirmeler sağlayabilmektedir. Görüldüğü üzere mikrodenetleyicilerle kullanıcıların talepleri analiz edilerek mekânlar özelleştirilebilmektedir.



Şekil 15. Videomapping mekân enstalasyonu (sol üst) (DrawLight), Nike koşu pisti (sağ üst) (Mashable), Videomapping çekmeceler (sol alt) (Visual Group), Mozayo akıllı sehpa (sağ alt) (SpinTouch).

3.4.7 Yaratıcılığı Arttırma

Araştırmada görüldüğü üzere mikrodenetleyici temelli dinamik ve etkileşimli mekân unsurları biçimsel ve fonksiyonel açıdan yenilikçi fikirler sunar. Özellikle kullanıcıların deneyimlemesine ve hatalarına izin veren ara yüzler ve mekanizmalar mekân öğelerine yeni işlevler ekleyebilir, estetik açıdan geliştirebilir, ilgi çekici hale getirebilir ve yaratıcı tasarımlar sağlayabilir (Odom vd., 2014).

Çalışmada incelenen etkileşimli mekân unsurlarının birçoğu enstalasyon, kinetik heykel, dinamik yapı ve sanat çalışmalarından derlenmiştir ve mikrodenetleyici temelli etkileşimli iç mekânlar için sanatçı ve tasarımcıların düşündüğü bazı fikirleri içermektedir. Mikrodenetleyici temelli etkileşimli sistemlerle duygusal ve fiziksel seviyede yararlar sağlanabilir.

Öte yandan araştırmada mikrodenetleyici temelli tasarımların henüz mekân örneklerine yeterince aktarılmadığı görülmektedir. Bu durumun sebeplerinin incelenmesi mikrodenetleyicilerin sınırlarının belirlenmesini sağlayacaktır.

3.5 Mikrodenetleyici Temelli Etkileşimli Mekân Tasarımı Sürecinde Karşılaşılan Kısıtlar

Etkileşimli mimari için mikrodenetleyici temelli sistemlerin çeşitli açılardan efor gerektirmektedir. Mikrodenetleyicilerin başlıca kısıtları ufak ölçekli projelere daha uygun oluşları, çok işlevli sistemlere uygun olmamaları, gelişmiş yazılım diline sahip olmayışları ve kendi ara yüzlerinin yetersiz olmasıdır (Alzafarani vd., 2018). Endüstri 4.0'la kullanıcıların teknolojiye yatkınlığının artması kısıtları azaltsa da bu sistemlerle mekânlarda nadir olarak karşılaşılmaktadır. Bu kısımda mikrodenetleyici tabanlı etkileşimli mekân tasarımları ortaya konurken tasarımcılar tarafından karşılaşılan kısıtlarla, sistemlerin geliştirilebilecek yönlerinden bahsedilecektir.

3.5.1 Disiplinlerarası Çalışma Gerektirmesi

Mühendisler, malzeme bilimciler, mimarlar, iç mimarlar ve ürün tasarımcıları arasında iletişim kurulması etkileşimli mekânlar için gerekliliktir (Nabil vd., 2017). Hira ve Hynes (2021)'a göre tasarımcılar ve mühendisler tasarımda farklı yaklaşımlar sergilerler. Tasarımcılar mühendisler gibi insan odaklı tasarıma ve problem çözmeye önem gösterse de metaforları ve hikayeleri de tasarıma taşımaya önem verirler. Bu sebeple insan-makine etkileşiminde disiplinlerarası çalışma önem arz eder. Nabil (2017)'e göre temel problem, mimarlar ve etkileşim tasarımcılarının benzer vizyona sahip olsalar da çalışmalarının birbirlerinden bağımsız şekilde gerçekleştirilmesidir. Bu durum iç mimarların yenilikçi teknolojileri kullanmasına mâni olurken, mühendislerin de fikirlerini mekânlara uyarlamalarını kısıtlamaktadır. Bu sebeple mikrodenetleyicilerin mekân tasarımlarına uyarlanmasının disiplinlerarası çalışma gerektirdiği söylenebilmektedir.

3.5.2 Mekânları Yeni Teknolojilere Uyarlama Sorunu

Yeni inşa edilen mekânlarda mikrodenetleyici tabanlı unsurların uygulanması kolay olsa da eski mimari yapılarda bu durum geçerli değildir. Mikrodenetleyici temelli çalışmalar Endüstri 4.0 döneminin başı itibarıyla kısıtlı örneklerle sınırlıdır. Bu sistemler daha çok iç mekânı göz ardı eden dinamik, etkileşimli hizmetlerde görülmekte ve ara yüz

tasarımcıları tarafından yeterince irdelenmemektedir (Nabil vd., 2017). Bu sebeple bu sistemlerin eski yapılara uyarlanmasının eklektik sonuçlar doğuracağı söylenebilir. Kullanıcılar ilgi çekiciliği sebebiyle mikrodenetleyici temelli unsurların taşınabilir, farklı mekânlara uyarlanabilir ve kablolu, yer kaplayan ürünler yerine mekânda gizlenebilir olmasını tercih etmektedir (Nabil vd., 2018).

Yukarıda bahsedilen türde teknolojik sistemlerin kullanılmasıyla yaratılacak mekân öğeleri kullanıcıların mekâna adaptasyonunu hızlandırabilir. Ancak eski yapılara bu unsurların uyarlanmasının maliyetli ve uzun süreli olması kaçınılmazdır. Çeşitli akademisyenler 21. yüzyılın yaşam tarzı düşünüldüğünde mimarların bu sistemleri daha çok kamusal alanlarda genel kullanıcının kullanacağı örneklerde kurguladıklarından ve kişiselleştirilmiş mekânlara uyarlamakta sıkıntı yaşadıklarından bahsetmektedirler (Fox ve Yeh, 2000).

3.5.3 Mikrodenetleyici Sistemlerini Mekân Ölçeğinde Uygulayabilme Zorluğu

Etkileşimli mekân tasarımında yapıların boyutları önemli bir kısıttır. Bu teknolojilerin prototipler dışında mekân ölçeğinde denenebilmesi gerekmektedir. Yekutiell ve Grobman (2014) 'ın bahsettiği üzere mimaride hareketli cepheler gibi sistemlerin mekân ölçeklerine uyarlanması (merkezi sistemle düşünülüyorsa) her özel alan için ayrı tasarım gerektirebilir. Rowan (2020)'a göre etkileşimli sistemlerin mekânın üretim aşamasında uygulanması, inşaat bittikten sonra uyarlanmasından daha doğrudur. Bu açıdan bakıldığında mikrodenetleyici temelli mekânların tasarım aşamasından yaşam ömrünün sonuna kadar planlanması gerektiği söylenebilir. Bu durum tasarımcıların bu teknolojileri projelere uyarlarken karmaşık metotlar kullanmalarına sebep olacak ve tasarım sürecini uzatacaktır. Nabil (2017) gibi araştırmacılar çözüm olarak mekânlarda kullanılacak malzemeler için teknoloji ve malzeme araştırmalarının yapılması gerektiğinden bahsetmektedir.

3.5.4 Sistemin Kullanıcı Alışkanlıklarına Uyarlanmasının Zorluğu

Endüstri 4.0'la biçim değiştirebilen birçok ara yüz çalışması yapılırken, bu tasarımların estetik yönü ve mekânla ilişkisi üzerinde yeterince durulmamakta, kullanıcı algısına etkileri göz ardı edilmektedir (Rasmussen vd., 2012). Mikrodenetleyici temelli etkileşimli mekânlar, alışılmadık ve yenilikçi ara yüzlerle çalıştığından kullanıcıların mekâna alışması zorlaşabilmektedir. Teknolojiler mekânlara aktarıldığında, kullanıcılar bunu deneyimin parçası olarak kabul eder ve bu teknolojileri kullanmak isterler. Bu aşamada mekânla uyum sağlayamamış teknolojiler problem yaratabilmektedir. Örneğin Nabil ara yüz işlevli yemek masası örtüsü çalışması ActuEating'de en önemli problemin etkileşimin algılanabilirliği olduğundan bahsetmektedir. Kullanıcılar için hızlı anlaşılır olmayan ve tutarsız çalışan, keşfedilmesi zor ara yüzlerin yanlış yönlendirici, anlaşılmaz veya rastgele çalışıyormuş gibi algılandığından söz eder (Nabil vd., 2018). Bu sebeple mikrodenetleyici temelli etkileşimlerin kullanıcı odaklı tasarlanması için bu mekanizmaların test edilmesi gerekebilmektedir. Örneğin coMotion projesinde şekil değiştirebilen bir bank tasarlanmış ve 120 kişinin iki dakikada bankın çalışma mantığını algılayıp algılayamadıkları incelenmiş, böylece tasarımda iyileştirmeler yapılmıştır (Gronvall vd., 2014) (Şekil 16). Benzer örnekte Gaver etkileşimli masa örtüsü projesi için kullanıcılarla dört aylık bir test süreci gerçekleştirilse de projeyi 10 senelik süreçte hala

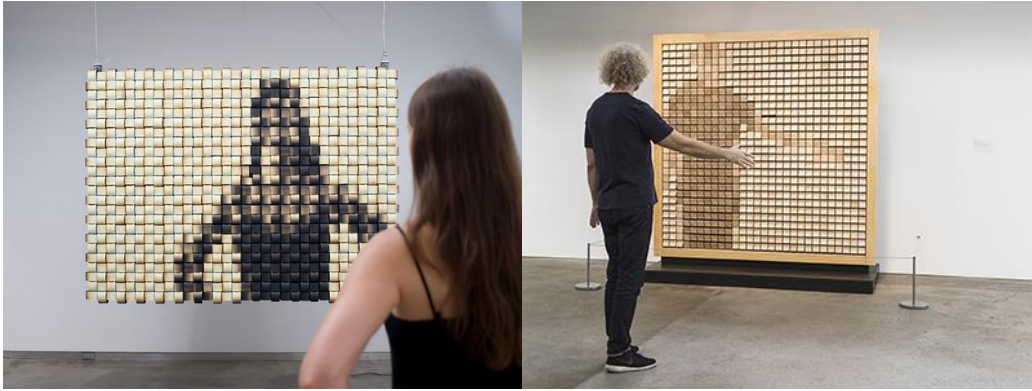
geliştirmekte olduklarından bahsetmektedir (Gaver vd., 2006). Bu tür etkileşimler için uzun süreli test grubu deneyleri yapılması ve tasarımın sürekli yenilenmesi gerekliliği, tasarım sürecinde kısıtlayabilmektedir.



Şekil 16. CoMotion şekil değiştiren bank (Gronvall vd., 2014)

3.5.5 Yeni Etkileşimler Tasarlama Zorluğu

Mikrodenetleyicili sistemlerin mekâna uyarlanması için mekânın geleneksel işlevlerinin ötesinde planlanması gerekebilmektedir. Mikrodenetleyicilerle kullanılabilir yenilikçi malzemelerin eksikliği, akıllı mekânların şekil değiştiremeyen, kullanıcının etkisini yansıtamayan biçimlerle tasarlanmasına sebep olmaktadır (Nabil vd., 2017).



Şekil 17. İnteraktif mekanik ayna tasarımı (Jobson, 2014).

Yine de ilham verici etkileşimlerle özellikle kinetik sanat enstalasyonlarında karşılaşılabilmektedir. Örneğin Rozin enstalasyonunda ayna kavramı yeniden ele alınmıştır. Enstalasyonda hareketli halkalar ziyaretçileri renk kodlarına ayırarak duvardaki renkli kutuların dönmesini ve yansımalarının oluşmasını sağlar (Jobson, 2014). Örnekte görüldüğü üzere, mikrodenetleyicilerle kurgulanacak yaratıcı ve yenilikçi tasarımlar için uzun süreli fikir aşamaları gerekmektedir.

4. Tartışma ve Sonuç

Araştırma sonucunda, IoT olgusunun gündelik yaşamdaki yerinin artmasıyla birçok alanda olduğu gibi mekânlarda da etkileşimlilik konusunda değişim yaşanacağı söylenebilmektedir. Kullanıcıların yaşam alanlarını özelleştirme isteği düşünüldüğünde mekânların ihtiyaçlara cevap verebilecek şekilde değişken, etkileşimli ve akıllı yapılara dönüşmesi gelecekte önemini arttıracaktır. Mikrodenetleyiciler bu aşamada iç mimarlara bilgisayar ve mekanik sistemlerin beraber kullanılabilirdiği yenilikçi tasarım çözümleri sunmaktadır. Ayrıca mikrodenetleyicilerin fiziksel programlama konusunda kullanıcı dostu oluşları sebebiyle kullanıcıların da kendi mekân tasarımlarını gerçekleştirmesi mümkündür. Bu durum üreten hareketinin iç mimarlıkta etkinliğinin artmasını ve önemli bir paydaş olmasını sağlamaktadır.

Mekâna uyarlanan her teknolojik öğede olduğu gibi mikrodenetleyiciler de tasarım konusunda avantajlar ve kısıtlar sunmaktadır. Kullanıcılarla mekânın etkileşiminin verimliliği için mikrodenetleyicilerin sınırları tasarımcılar tarafından anlaşılmalı ve mekâna uyarlama şekilleri çözümlenmelidir. Tasarımcıların ve sanatçıların mekân örnekleri incelendiğinde bazı benzer yaklaşımları benimsedikleri söylenebilmektedir. Özellikle kullanıcıların jest ve hareketlerinin sensörlerle algılanarak etkileşimler sağlanmasının yaygın bir yöntem olduğu görülmektedir. Bununla birlikte mikrodenetleyicilerin kinetik yapılara olanak vermesi sebebiyle mekanik ve hareketli etkileşimler ön planda tutulmaktadır. Etkileşimli mekânlarda biçim değiştirebilen mekanik yapıların kullanıcıların anlık ihtiyaçlarına cevap vermek için sıkça başvurulan bir tasarım uygulaması olduğu söylenebilmektedir. Ayrıca mekân öğelerinin ara yüz olarak kurgulanıp işlevliliğin ve etkileşimliliğin artırılması sıkça gözlemlenen bir tasarım çözümüdür. Mikrodenetleyicilerin sunduğu esnek çözümlerin mekânda yaratıcı biçimler ve etkileşimler tasarlanmasına olanak sağladığı söylenebilir.

Öte yandan mikrodenetleyici temelli mekânların tasarımında bazı kısıtlar bulunmaktadır. Gelenekselleşmiş mekân unsurlarının aksine kapsamlı mühendislik altyapısı gerektiren mikrodenetleyiciler tasarım süreçlerinde disiplinlerarası çalışmaya ve uzun tasarım süreçlerine ihtiyaç duymaktadır. Ayrıca mikrodenetleyicilerin var olan mekânlara uyarlanması bu mekânların inşa edilirken bu teknolojilerin düşünülmemiş olması sebebiyle zorluklara sebep olabilmektedir. Mekânların büyük ölçekli yapılar olması da mikrodenetleyici temelli sistemlerin maliyetini arttırmaktadır. Bahsedilen kısıtlar bu teknolojilerin güncel dönemde ufak ölçekli ve yeni inşa edilen mekânlarda uygulanabilmesine neden olmaktadır. Son olarak bu teknolojilerin sağlıklı şekilde etkileşime girebilmesi için kullanıcı deneyim ve davranışlarının incelenmesi ve yenilikçi çözümler sunulması gerekliliği de bu mekânların tasarımlarını kısıtlamaktadır. Çalışma kapsamında elde edilen veriler ışığında Şekil 18’de olanaklar, kısıtlar ve çözüm önerileri ile ilgili bir referans tablosu oluşturulmuştur.



Şekil 18. Araştırma kapsamında elde edilen veriler neticesinde oluşturulan referans tablosu (Özdemir ve Arabacıoğlu)

İnfoğrafikte görüldüğü gibi kısıtların aşılması için sanat enstalasyonları ve farklı ölçekteki akıllı tasarımların iç mimarlarca analiz edilmesi mekânların tasarımları için yararlı bir yöntem olarak düşünülebilir. Bu doğrultuda tasarlanacak mikrodenetleyici temelli mekânlar gelecekte yaşam alanlarını yapısal, estetik ve teknolojik anlamda yenilikçi bir hale getirecek ve yaratıcılığı arttıracaktır.

Yazarların Katkı Oranı

Sıra	Adı soyadı	ORCID	Yaziya katkısı*
1	Sencer ÖZDEMİR	0000-0003-2364-0783	1, 2, 3, 4, 5
2	Burçin Cem ARABACIOĞLU	0000-0002-1204-4479	1, 5
*Katkı bölümüne ilgili açıklamanın karşılığına gelen rakam(lar) yazılmıştır.			
1. Çalışmanın tasarlanması 2. Verilerin toplanması 3. Verilerin analizi ve yorumu 4. Yazının yazılması 5. Kritik revizyon			

Kaynaklar

- Alzafarani, R. A., & Alyahya, G. A. (2018). Energy efficient IoT home monitoring and automation system. *2018 15th Learning and Technology Conference (L&T)*. 107-111. DOI: 10.1109/LT.2018.8368493.
- Anderson, C. (2012). *Makers: The new industrial revolution*. Crown Business.
- Amit, S., Koshy, A. S., Samprita, S., Joshi, S., & Ranjitha, N. (2019). Internet of Things (IoT) enabled sustainable home automation along with security using solar energy. *2019 International Conference on Communication and Electronics Systems (ICCES)*, 1026-1029. ISBN: 978-1728112619.
- Arabacıoğlu, B.C., (2005). *Akıllı bina sistemleri ile etkileşimli kişiselleşebilir iç mekân kavramı ve geleceğin akıllı iç mekân tasarımı süreci için bir model önerisi* (Yayın No. 167774). [Doktora tezi, MSGSÜ].
- Arabacıoğlu, B. C. (2008). Etkileşimli Mekân Tasarımı. *KMİM Dergisi*, (3), 43-51.
- Arabacıoğlu, B. C. (2014). *Bilgi-iletişim teknolojileri destekli etkileşimli mekân tasarımı süreci* (Yayın No. 374652). [Doktora tezi, MSGSÜ].
- Arabacıoğlu, B.C. ve Aytıs, S. (2016). Bilgi-İletişim teknolojileri destekli etkileşimli mekân tasarımı süreci. *Megaron*, 11(2), 282-290. <https://doi.org/10.5505/megaron.2016.82712>.
- Dutt, F., Das, S., & Swartz, M. (2016). Interactive glare visualization model for an architectural space. *Between Computational Models and Performative Capacities*, 19(97), 1-11.
- Fox, M. A., Yeh, B. P. (2000). Intelligent kinetic systems in architecture. *Managing interactions in smart environments* (pp. 91-103). Springer.
- Gaver, W., Bowers, J., Boucher, A., Law, A., Pennington, S., & Villar, N. (2006). The history tablecloth: Illuminating domestic activity. *In Proceedings of the 6th conference on Designing Interactive systems*, 199-208. <http://dx.doi.org/10.1145/1142405.1142437>.
- Gertz, E., & Di Justo, P. (2012). *Environmental monitoring with Arduino: building simple devices to collect data about the world around us*. O'Reilly Media. ISBN: 978-1-449-31056-1.
- Giacobbe, M., Pellegrino, G., Scarpa, M., & Puliafito, A. (2017). The ESSB system: a novel solution to improve comfort and sustainability in smart office environments. *2017 IEEE 14th International Conference on Networking, Sensing and Control (ICNSC)*, 311-316. DOI: 10.1109/ICNSC.2017.8000110.
- Grönvall, E., Kinch, S., Petersen, M. G., & Rasmussen, M. K. (2014). Causing commotion with a shape-changing bench: experiencing shape-changing interfaces in use. *Proceedings of the SIGCHI Conference on Human Factors in Computing Systems*, 2559-2568. <https://dx.doi.org/10.1145/2556288.2557360>.

- Gunge, V. S., & Yalagi, P. S. (2016). Smart home automation: a literature review. *International Journal of Computer Applications*, 975, 6-10.
- Hira, A., & Hynes, M. (2021). How do designers and engineers practice design while Making? A narrative inquiry of designers who Make. *Information and Learning Sciences*, 12(11), 749-773. <https://doi.org/10.1108/ILS-08-2020-0195>.
- Irak, N. ve Yılmaz, E. (2019). Akıllı Binalarda Konfor Faktörü ve Optimizasyonu. *International Congress on HumanComputer Interaction, Optimization and Robotic Applications*, DOI: 10.36287/setsoci.4.5.027.
- Kim, H., Huang, J., & Lee, J. K. (2016). A case study: Projecting images for designing interior panels using parametric modeling tool. *ISARC. Proceedings of the International Symposium on Automation and Robotics in Construction*, 33(1), IAARC Publications.
- Majhi, A. K., Dash, S., & Barik, C. K. (2021). Arduino based smart home automation system. *Accent. Trans. Inf. Secur*, 6, 7-12. <http://dx.doi.org/10.19101/TIS.2021.621001>.
- Mukendi, H. K., Adonis, M. (2018). Smart homes and sustainable cities: The design of a low-cost solution for comprehensive home automation. *Sustainable cities-authenticity, ambition and dream*. IntechOpen. DOI: 10.5772/intechopen.78058.
- Nabil, S., Plötz, T., & Kirk, D. S. (2017). Interactive architecture: Exploring and unwrapping the potentials of organic user interfaces. *Proceedings of the Eleventh International Conference on Tangible, Embedded, and Embodied Interaction*, 89-100. <http://dx.doi.org/10.1145/3024969.3024981>.
- Nabil, S., Everitt, A., Sturdee, M., Alexander, J., Bowen, S., Wright, P., & Kirk, D. (2018). ActuEating: Designing, studying and exploring actuating decorative artefacts. *Proceedings of the 2018 Designing Interactive Systems Conference*, 327-339. <https://doi.org/10.1145/3196709.3196761>.
- Nabil, S., & Kirk, D. (2021). Decoraction: a Catalogue for Interactive Home Decor of the Nearest-Future. *Proceedings of the Fifteenth International Conference on Tangible, Embedded, and Embodied Interaction*. 1-13. <https://doi.org/10.1145/3430524.3446074>.
- Odom, W., Banks, R., Durrant, A., Kirk, D., & Pierce, J. (2012). Slow technology: critical reflection and future directions. *Proceedings of the Designing Interactive Systems Conference*, 816-817. <http://dx.doi.org/10.1145/2317956.2318088>
- Öztürk, M., Gökoğlu, S. ve Çakıroğlu, Ü. (2017). Öğrenme Sürecinde Yeni Bir Yaklaşım: Üreten Hareketi (Maker Movement). *Eğitim Teknolojileri Okumaları 2017*, TOJET.
- Rasmussen, M. K., Pedersen, E. W., Petersen, M. G., & Hornbæk, K. (2012). Shape-changing interfaces: a review of the design space and open research questions. *Proceedings of the SIGCHI Conference on Human Factors in Computing Systems*, 735-744. <https://doi.org/10.1145/2207676.2207781>
- Ren, H., Anicic, D., & Runkler, T. A. (2021). Tinyol: Tinyml with online-learning on microcontrollers. *2021 International Joint Conference on Neural Networks (IJCNN)*. 1-8.

Rowan, P. (2020). *Agility in Interior Architecture: An investigation through Prototypical Design for Interactive Spatial Dynamics*. [Doctoral dissertation, Wellington Architecture School]. <http://hdl.handle.net/10063/9314>.

Saint-Clair, R. (2014). In the Interior of Innovation: The FabLab Synthesis of Physical and Virtual Environments. *A Matter of Design: Making Society through Science and Technology, Proceedings of the 5th STS Italia Conference*, STS Italia Publishing, 1145-1161.

Seo, J. H., Sungkajun, A., Sanchez, T., & Suh, J. (2015). Touchology: Peripheral Interactive Plant Design for Well-being. *IxD&A*, 27, 175-187.

Taşdemir, C. (2012). *Arduino: Analog, dijital, sensörler, haberleşme, projeler*. Dikeyksen Yayınları.

Yan, H. H., & Rahayu, Y. (2014). Design and development of gas leakage monitoring system using arduino and zigbee. *Proceeding of International Conference on Electrical Engineering, Computer Science and Informatics (EECSI 2014)*.

Yekutieli, T.P., & Grobman, Y.J., (2014). Controlling kinetic cladding components in building facades: A case for autonomous movement. *Proceedings of the 19th International Conference on Computer-Aided Architectural Design Research in Asia (CAADRIA 2014)*. DOI: 10.52842/conf.caadria.2014.129.

Yusuf, A., & Baba, M. A. (2014). Design and Implementation of a Home Automated System based on Arduino, Zigbee and Android. *International Journal of Computer Applications*, 97(9).

Ziqian, B., (2015). *Innovative photonic textiles: the design, investigation and development of polymeric photonic fiber integrated textiles for interior furnishings*. [Doctoral dissertation, Hong Kong Polytechnic University].

İnternet Kaynakları

Arduino Expert (2016). *Automated Greenhouse*, Duino4Projects. <https://bit.ly/3rhFTjN>

Arduino Team (2016, 26 Mayıs). *Cloud lamp/speaker combo brings thunder into your living room*, Blog.Arduino.CC. <https://bit.ly/3Rptipm>

Arduino Team (2016, 26 Ağustos). *Interactive instrument turns brainwaves into art*, Blog.Arduino.cc. <https://bit.ly/3Rj5ljG>

Brito, M. (2012, 8 Ağustos). *A Living System*, Behance. <https://bit.ly/3ClqPrK>

Bruges, J. (2012). *Nature Trail*, Jack Bruges Studio. <https://bit.ly/3RnzKgH>

CartonLab (2016, 12 Temmuz). *Extensible LAMP Project*, Facebook. <https://bit.ly/3rjLFBF>

CERN-OHL2 (2019). *G.L.A.M.O.U.R.o.U.S.*, Project Hub. <https://bit.ly/3rkCSPU>

- Collabcubed (2012, 1 Ekim). *Anarchy Dance Theater & Ultracompos*, Collabcubed. <https://bit.ly/ultracompos>
- Damian, O. (2017, 10 Şubat). *Use Arduino, Sensors, Servos, and LEDs To Create Life-Like Behavior*, Makezine. <https://bit.ly/3ClG5oJ>
- DrawLight (2014). *3D Room Video Mapping Projection - London Design Week (100%Design)*, Youtube. <https://bit.ly/3dXfvZB>
- Gordon, R. (2020, 8 Nisan). *Sprayable user interfaces*, MIT CSail. <https://bit.ly/3CnpXmo>
- Ito, H. (2013, 10 Eylül). *The Responsive Tea Room*, Behance. <https://bit.ly/3SpWH4l>
- Jobson, C. (2014, 16 Şubat). *Interactive Mirrors Built from Arrays of Moving Objects by Daniel Rozin*, Colossal. <https://bit.ly/3SiAVzj>
- KTH Royal Institute of Technology (2014, 14 Ağustos). *Mediated Spaces*, KTH Group. <https://bit.ly/3StYWng>
- Mashable (2017). *Nike's LED running track*, Youtube. <https://bit.ly/3rfyP7z>
- NXP (2013). *Smart Home*, NXP. <https://bit.ly/3y1gkHO>
- ProjectOne (2009). *MorphoLuminescence*, Vimeo. <https://bit.ly/3rhHA0C>
- Spintouch (2022). *The Mozayo Multi-touch Table*, Spintouch. <https://www.spintouch.com/interactive-solutions/hardware/mozayo/>
- Visual Group (2010). *Furniture Videomapping*, Vimeo. <https://vimeo.com/15432621>
- Voices of U (2016). *LINES - an Interactive Sound Art Exhibition*, Youtube. <https://bit.ly/VoicesofU>