

Shell Design by Integration of Origami and Cellular Automata

Hatice Melike Özbek¹

ORCID NO: 0000-0002-3160-8778¹

¹ Istanbul Technical University, Graduate School of Science, Engineering, and Technology, Department of Informatics, Architectural Design Computing Program, Istanbul, Turkey

In this study, an emerging shell design was made by using origami and cellular automata in an integrated way. The state of being kinetic and being able to change and transform, which comes from the nature of origami; is an inspirational situation in an architectural design. Use of origami can provide unexpected results to the designer. Producing an integrated system with the concept of emergence, creating a system that emerges with the determined rules and the interactions between the parts in the system themselves will strengthen the design. At the beginning of the study, different origami models were tried; The origami pattern with the parabola form, which will most support the concept of emergence, was used. Within the scope of the study, the modular use of origami was discussed and cellular automata was used in the assembly of the modules. The use of modules and the combination of modules by use of cellular automata; strengthened the relationship of the study with the concept of emergence. Numerous variations will be produced by the cellular automata, and all these examples will be able to enter different forms with their own state of motion; will produce numerous alternatives for the designer and the user for different spaces and scenarios. In this context, origami was first discovered through manual trials, and the system to be used was decided, and then digital modeling and productions were supported. Manual and digital production methods supported each other; The development of the model and design has been achieved through feedback in the process. The “Crane” plugin was used to create origami simulations for models created with Rhino-Grasshopper. Simulating origami movement in digital productions; It has been a guide in terms of the forms in which shell designs that are difficult to produce in manual studies, consisting of many modules. At the same time, the simulation steps have been guiding in the scope of the study in terms of how the user-interactive movements will be in real life and the form that the shell will take. In the continuation of the study, research was carried out for the production of the design, and a system proposal was developed. Finally, the kinetic state of this system has been investigated and studies have been carried out on the system that will provide the movement. It has been seen that origami has led the designer to many alternative designs with the appropriate material and system selection. With the kinetic system of origami and its support with cellular automata; A shell design that supports the appearance in every aspect, is user-interactive, and can adapt to different scenarios has been achieved. The realization of different productions through the user route, which will be determined in a place at the beginning, has ensured that the concept of emergence is specific to the place. At the same time, the use of cellular automata with popular configurations has contributed to creating different design alternatives.

Received: 15.08.2021

Accepted: 08.09.2021

Corresponding Author:

ozbekh15@itu.edu.tr

Özbek, H. M. (2021). Shell design by integration of origami and cellular automata. *JCoDe: Journal of Computational Design*, 2(2), 73-102. <https://doi.org/10.53710/jcode.983226>

Keywords: Cellular Automata, Emergence, Generative System, Origami.

Origami ve Hücresel Özdevinim Entegrasyonu ile Kabuk Tasarımı

Hatice Melike Özbek¹

ORCID NO: 0000-0002-3160-8778¹

¹ İstanbul Teknik Üniversitesi, Lisansüstü Eğitim Enstitüsü, Bilişim Anabilim Dalı, Mimari Tasarımda Bilişim, İstanbul, Türkiye

Bu çalışma kapsamında origami ve hücresel özdevinimin entegre bir şekilde kullanarak tasarımda kullanılmasının uygunluğu araştırılmıştır. Origaminin doğasından gelen hareketli olma ve değişip dönüşebilme durumu; yapısal anlamda ilham verici bir durumdur. Bu konu ele alınırken belirme kavramıyla entegre bir sistem üretmek, belirlenen kurullarla ve sistemin içindeki parçaların kendileri arasındaki etkileşimleriyle beliren bir sistem oluşturmak tasarımı güçlendirecektir. Çalışma kapsamında origaminin modüler kullanımı ele alınmış ve modüllerin bir araya gelişinde de hücresel özdevinim kullanılmıştır. Hücresel özdevinim ile sayısız varyasyonlar üretilecek olup bütün bu örneklerin de kendi içindeki hareket durumuyla farklı formlara girebilecek olması; tasarımcıya ve kullanıcıya farklı mekanlar ve senaryolar için sayısız alternatif üretecektir. Bu kapsamda origami, öncelikle manuel denemelerle keşfedilerek kullanılacak sisteme karar verilmiş ve devamında dijital modelleme ile üretimler desteklenmiştir. Manuel ve dijital modelleme yöntemleri birbirlerini desteklemiş olup; süreç içinde geri bildirimlerle modelin ve tasarımın gelişimi sağlanmıştır. Rhino-Grasshopper ile oluşturulan modellerde origami simülasyonu oluşturabilmek için “Crane” eklentisi kullanılmıştır. Dijital modellemelerde origami hareketinin simüle edilmesi; manuel çalışmalarda üretilmesi zor, sayıca fazla modülden oluşan kabuk tasarımlarının gireceği formlar açısından yol gösterici olmuştur. Çalışmanın devamında tasarımın üretimine yönelik araştırmalar yapılmış olup sistem önerisi geliştirilmiştir. Son olarak bu sistemin kinetik durumu araştırılmış ve hareketi sağlayacak sistemle ilgili çalışmalar yapılmıştır. Origaminin uygun malzeme ve sistem seçimi ile tasarımcıyı pek çok alternatif tasarımlara götürdüğü görülmüştür. Origaminin sahip olduğu kinetik sistem ve bunun hücresel özdevinimle desteklenmesiyle; belirmeyi her açıdan destekleyen kullanıcı etkileşimli ve farklı senaryolara adapte olabilen bir kabuk tasarımına ulaşılmıştır.

Teslim Tarihi: 15.08.2021

Kabul Tarihi: 08.09.2021

Sorumlu Yazar:

ozbekh15@itu.edu.tr

Özbek, H. M. (2021). Origami ve hücresel özdevinim entegrasyonu ile kabuk tasarımı. JCoDe: Journal of Computational Design, 2(2), 73-102. <https://doi.org/10.53710/jcode.983226>

Anahtar Kelimeler: Belirme, Hücresel Özdevinim, Origami, Üretken Sistem.

1. GİRİŞ (INTRODUCTION)

Tasarımda belirme, tasarımcıya ve kullanıcıya beklenmedik pek çok alternatif sunmakta ve tasarıma çok farklı açılardan yaklaşmayı sağlamaktadır. Çalışma kapsamında belirme kavramını destekleyecek farklı stratejiler benimsenmiş ve bunların entegrasyonu ile aynı parçalarla ve örüntülerle oluşturulan tasarımların bile değişip dönüşebilmesi ile beliren bir kabuk tasarımı ortaya çıkmıştır. Araştırmanın başlangıcında origaminin belirme kavramı ile ilişkisi irdelenirken; devamında başka bir üretken sistemle entegrasyonu ile belirme kavramının güçlenme durumu araştırılmıştır. Bu araştırmalar sırasında üretken sisteme entegrasyon için katlama ile oluşturulan modellerle sürece uygun katlama teknikleri araştırılmıştır ve son olarak hücrel özdevinimle birlikte kullanımın tasarımcıya neler kazandıracağını araştırmak amacıyla bir süreç düzenlenmiştir.

Çalışmanın belirme kavramıyla kurduğu ilişkiyi açıklarken öncelikle holizm ele alınmalıdır. Smuths; holizmin nesnelere bir bütün olarak gördüğünü, bütünün parçaların toplamından fazlası olduğunu ve son olarak bütünün davranışının ve karakterinin onu oluşturan parçalarla tek tek açıklanamayacağını söylediğini belirtmiştir (Smuths, 1929). Aynı şekilde Holland tarafından belirme kavramının “Bütün, onu oluşturan parçaların toplamında fazlasıdır (Holland, 2000).” şeklinde tanımlanması; kavramın ele alınışı ve tasarıma yön vermesi açısından önem teşkil etmektedir. Bir başka açıdan bakıldığında kural tabanlı sistemlerin pek çok açıdan belirme kavramını desteklediği bilinmektedir. (Knight, 2003) Bu tanımlar ışığında belirme; bir bütünün parçalarının birbirleri arasındaki etkileşimleriyle beklenmedik sonuçlar doğurma durumudur şeklinde açıklanabilir. Bütünü oluşturan parçalar bir araya geldiklerinde, kendi başına ifade ettikleri anlamdan çok daha fazlasını ifade ederler.

Belirme kavramının üretken bir sistemle irdelenmesinin amaçlandığı bu çalışmada origaminin tek bir sistem ve katlama tekniğiyle farklı formlar oluşturabilme potansiyelinden yararlanılmıştır. Çalışma kapsamında manuel ve dijital tasarım araçlarının entegrasyonu ile belirme ve esneklik kavramlarının ele alındığı bir kabuk tasarlanmaktadır. Düz bir kağıda uygulanan katlama teknikleriyle sonsuz varyasyonda formlar üretmek mümkündür. Bu katlamaların sıklığına göre ince bir malzemeye taşıyıcı özellik kazandırmak ya da katlamanın vermiş olduğu dinamik

olma durumuyla düz bir malzemeye hareket kazandırmak mümkündür. Bir malzemenin doğası itibarıyla sahip olmadığı özellikleri ona uygulanan etkilerle kazandırmak ise yine bu durumu “belirme” (emergence) kavramına getirmektedir. Bu durum; origaminin tasarımcıya tek malzemenin, farklı özellikte pek çok tasarıma ulaşma şansı verdiğini göstermektedir. Bu farklı alternatiflerle ise “esneklik” kavramına atıfta bulunmak mümkündür. Burada esneklik iki ayrı şekilde ele alınabilir. Origaminin doğası gereği oluşturulan form, doğru katlama teknikleri tercih edildiğinde mekanik bir form olabilir. Böylelikle tasarım değişen koşullara uyum sağlayabilir; tek bir forma değil, farklı formlara sahip olabilir. Diğer bir konu ise bu değişme potansiyelinin kullanımla entegre edilmesidir. Kullanıcıya farklı ortamlar sağlayarak farklı amaçla hizmet edebilmesi durumu da esneklik olarak değerlendirilebilir. Bir ortamda oluşturulacak farklı senaryolar için farklı ortamlar aynı yapıyla sağlanabilir. Ayrıca eş zamanlı bir şekilde kullanıcı etkileşimli formlar da origami sayesinde tasarlanabilir.

Bu çalışma kapsamında da belirme kavramı origami çalışmalarıyla ele alınmıştır. Origami; Japoncada “oru” (katlama) ve “kami” (kağıt) kelimelerinin birleşiminden oluşan kağıt katlama sanatı olarak bilinmektedir. (Lang, 2017) Bu sanat barındırdığı potansiyellerle yalnızca bir kağıt katlamadan çok daha fazlasını ifade etmektedir. Tasarım boyunca üretken sistemin kurgulanma süreci doğrudan dijital yöntemlerle değil, manuel şekilde origami denemeleriyle geliştirilecek olup, bu manuel süreçten elde edilen bilgilerle de dijital modelin desteklenmesi kurgulanmaktadır. Sürece dijital olarak üretken sistemlerin dahil olması da modüllerin bir araya gelmesinde kullanılacaktır. Knight’ın belirttiği gibi hücrel özdevinimden biçim gramere; kural tabanlı sistemler pek çok açıdan belirmeyi anlamak ve oluşturmak için kullanılabilir (Knight, 2003). Bundan dolayı modüllerin oluşturulmasından sonra araştırılacak konu hücrel özdevinimdir. Hücrel özdevinim kullanımı ile modüllerin farklı kombinasyonlarda bir araya gelmesi; tasarımcıya farklı alternatifler sağlayacaktır ve belirme kavramı hem origami modüllerinin kendi hareketleriyle hem de hücrel özdevinim kullanımıyla ortaya çıkacak farklı formlarla ele alınmış olacaktır. Tasarım kısmından sonra ise çalışma, üretim odaklı devam edecek olup; malzeme ve kinetik sistemlere odaklanılmaktadır. Esnek ve dayanıklı bir malzeme seçimi ve bu malzemeyi hareket açısından desteleyecek bir sistem ile tasarım ilerletilecektir. Çalışma kapsamında farklı yöntemlerle oluşturulmuş farklı kabuk tasarımları ve

aynı tasarımların kinetik davranışı ile oluşturduğu formlar bir arada ele alınacak olup, belirme kavramının tasarımda bulunduğu yer irdelenecektir.

2. LİTERATÜR ARAŞTIRMASI (LITERATURE REVIEW)

Modernist yaklaşımlara bakıldığında katlama tekniği ile tasarım süreçlerini görmek mümkündür. Eisenman 1990'lerde katlama formları ile metinlere ve matematiksel modellere dayalı yeni bir dil geliştirmiştir (Schramke, 2016) ve katlamanın bir ürün değil, süreç olduğunu belirtmiştir. (Carpo, 2004) Katlamanın bir süreç olarak tanımlanması da çalışma boyunca ele alınan belirme kavramını desteklemektedir. 1900'lerde yapı ölçeğinde örnekleri görülen katlama ile tasarımlar; barındırdığı potansiyeller dolayısıyla çalışmada kullanılmıştır. Katlama dijital metotlarla birleştirilerek tasarımı destekleyecek şekilde kullanılmıştır.

Origaminin farklı bir kural tabanlı yaklaşımla geliştirilmesinin amaçlandığı bu çalışmayı mevcutlarından ayıran kısım; bir origami deseninin manuel ve dijital modelleme yöntemleriyle ele alınıp hücrel özdevinim kullanımına uygun olup olmadığının araştırılmasıdır. Çalışma boyunca tasarıma yönelik yaklaşımlar denenmiş olup her aşama birbirini destekler şekilde yürütülmüştür.

Literatür araştırması yapıldığında origaminin ele alınış şekline göre disiplinler arası şekilde farklı kavramlarla da bahsedilen bir alan olduğu görülmektedir. Bu noktada bahsedilecek kavramlardan ilki "origamics" kavramıdır. Origamics; origaminin matematik, geometri, mühendislik gibi alanlarla entegre olarak ele alındığı araştırma alanıdır. (Stewart, 2007) Kağıdı katlayarak sanat amaçlı formlar elde edilmesinin dışında bu bilgi ve deneyleri bilimsel alanlarla entegre etmek; çalışmaların kapsamını fazlasıyla genişletip farklı disiplinlerle bir arada kullanılmasını sağlamıştır. Origamics anahtar kelimesi ile araştırma yapıldığında, bu modellerin matematiksel hesaplamalarına da girildiği ve dijital üretimlerle farklı alanlarda araştırmalar yapıldığını söylemek mümkündür. Yapılan bu araştırmalar da origaminin matematikle de birleşimi ve form açısından sağladığı alternatifler sayesinde mimariye kolaylıkla entegre edilebileceğini göstermektedir.

Origami ile ilgili araştırmalara bakıldığında; mevcut origami örnekleri üzerinden biçim gramerleri geliştirilen örnekler görmek mümkündür. Başlangıçta kağıt katlama ile oluşturulan bir modelin kural tabanlı bir sisteme dönüştürülmesi üzerine çalışmalar mevcuttur. Yu, Hong, Economou ve Paulino; kağıt katlama ile oluşturdukları modelleri katlama desenleri üzerinden analizler yaparak origamiyi bir biçim gramerine dönüştürmüşlerdir. (Yu, Hong, Economou ve Paulino, 2020) Aynı şekilde Gattas eğrisel katlamalara sahip bir origami desenini farklı matematiksel eşitlikler kullanarak kural tabanlı hale getirmiş ve bir biçim grameri oluşturmuştur. (Gattas, 2018) Bu çalışmada ise mevcut örnekleri kural tabanlı başka bir sistemle entegre ederek farklı form arayışları ve origami ile bu üretken sistemin entegrasyonunun mümkün olup olmadığı araştırılmıştır.

Calretas, Kong ve Januario (2014), mimari tasarımda kağıt katlamanın rolünü ele alarak, sürecin dijital sistemlerle ilişkisini de irdelemişlerdir. Origamics kavramı üzerine yapılan çalışmalar incelendiğinde; origaminin mekânsal üretimi üzerine çalışıldığını söylemek mümkündür (Hemmerling, 2009). Origami ile ilgili bir diğerk kavram ise “rijit origami” kavramıdır. Bu da mimariyi yakından ilgilendiren bir kavramdır. Rijit origami, herhangi bir yüzü bükerek veya katlayarak deformasyon olmaksızın kat izleri boyunca sürekli olarak dönüştürülebilen parçalı doğrusal origamilere denir (Tachi, 2011). Origami bir strüktür tasarımına ilham olacaksa; rijit origami örnekleri bu alan açısından faydalı olabilir.

Çalışmanın Origami ve form bulma sürecinin devamında yürütülecek uygulama aşaması için mevcut origami örnekleri araştırılmış olup hareketli kabuk için malzeme ve sistem örnekleri incelenmiştir. İncelenen pek çok örnekte origaminin genellikle ahşap gibi dayanımı yüksek malzemelerle üretildiği görülmüştür. Bunun dışında rijit origami olmayan uygulamalarda esnek polimer malzemeler kullanıldığı görülmüştür.

Osorio, Paio ve Oliveria; Kinetic Origami Surfaces (2014) çalışmasında hareketli bir origami sistemi tasarlanmış olup bunu hem malzeme hem mekanik sistem açıdan değerlendirerek üretimi yapılmıştır (Osorio, Paio & Oliveria, 2014). Çalışma kapsamında oluşturulan origami rijit origami özelliği göstermemektedir ve polipropilen (PP) levha kullanılmıştır. Bu malzeme kağıt gibi hafif ve esnek olmasının yanında; strüktürel açıdan

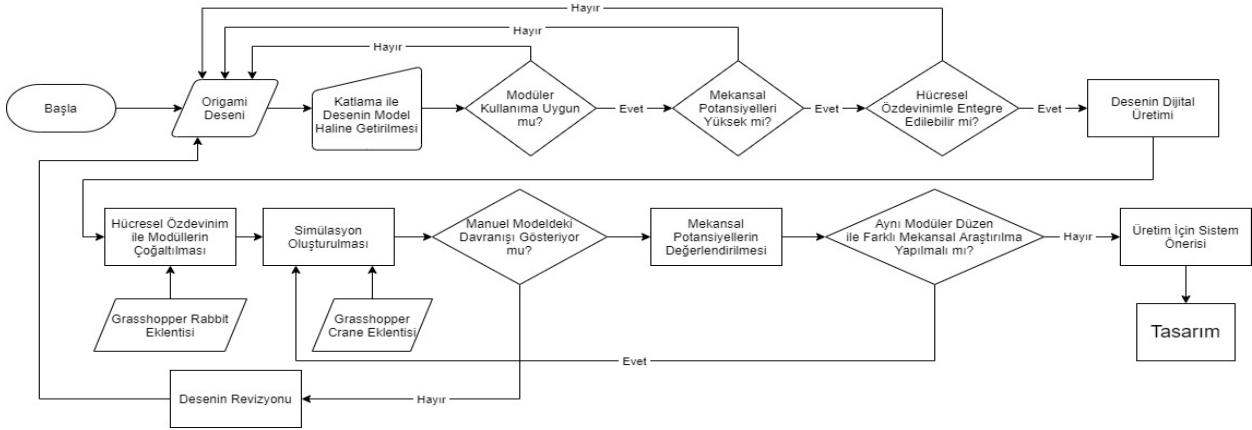
dayanıklı bir malzemedir ve güçlere karşı direnç gösterebilir (Osoria et al., 2014). Polimer malzemenin esnek özellik göstermesi kinetik sistemin hareketine engel olmamasını sağlamaktadır. PP levha daha detaylı araştırıldığında pek çok kıvrılma hareketi gösteren origami çalışmalarında bu malzemenin kullanıldığı görülmüştür. PP levha üzerine origami deseni ile iz çıkartılarak malzemenin yük altındaki davranışı incelenmiş ve belli bir yüke kadar formunu bozmadan esnek yapısı sayesinde katlanabildiği görülmüştür. (Lee et al., 2019)

Bütün bu araştırmalar sonucunda; origaminin manuel ve dijital modellerinin birbirini destekleyip geri bildirimlerle üretimleri geliştireceği bir süreç üzerinde çalışılmıştır. Mevcut çalışmalarda dijital ve manuel alanlardan daha çok birine odaklanıldığı görülmektedir veya bu iki yöntem lineer bir süreç olarak izlenmektedir. Bu araştırma ile iki farklı yöntemin entegrasyonu amaçlanmaktadır ve iki yöntemden edinilen bilgiler bir diğer üretimi besleyerek modelin gelişmesini sağlayacaktır. Aynı zamanda çalışma boyunca üretilen dijital modeller simülasyon olarak ele alınacak olup malzemenin rijitlik gibi değişkenlerinin kontrolü ile farklı simülasyonlar ile üretimi destekleyecek bir süreç hedeflenmektedir. Tasarımın hücresel özdevinimle entegrasyonu sayesinde origaminin doğasında bulunan belirme durumu farklı bir açıdan desteklenecek olup; aynı sistemlerle birden çok tasarıma ulaşılacak bir araştırma hedeflenmektedir. Mevcut araştırmalara bakıldığında origaminin üretimi biçim gramerine dönüştürülürken bu çalışma kapsamında yapılan origami bir modül olarak kullanılarak kural tabanlı şekilde tasarımcıyı bütüncül bir tasarıma götürecektir. Son olarak bütün bu tasarım araştırmalarının üretimine odaklanılacak; mevcutta bulunan genellikle ahşap levhalarla üretilmiş origami tasarımlarına pratik bir alternatif sağlayarak bütün bu belirme durumunu kullanıcıların da deneyimleyebileceği bir sistem araştırması hedeflenmektedir. Çalışma origaminin hücresel özdevinimle entegrasyonunun uygulanabilirliğini araştırma açısından literatüre katkı sağlamayı amaçlamaktadır. Hem sürecin simülasyonlar ve modellerle geri bildirimli olarak yürütülmesi hem de mevcut üretim tekniklerine alternatif sistemler araştırılması yönüyle de mevcut çalışmalardan ayrılmaktadır.

3. YÖNTEM (METHOD)

Çalışma boyunca origaminin tasarımda belirme destekleyecek şekilde üretimi yapılmış olup; zaten belirme destekleyen yapısının hücrel özdevinimle entegrasyonunun mümkün olup olmadığı ve bunun tasarımcıya belirme açısından sağladığı farklı tasarımlar araştırılmak istenmiştir. Tasarıma manuel katlama denemeleri ile başlanmış olup; bu denemelerin modüler kullanıma uygunluk, mekânsal potansiyellerinin fazlalığı ve hücrel özdevinimle entegrasyonu gibi kriterleri sağlayıp sağlamasıyla origami desenleri denenmiştir. Sürecin devamında bu manuel denemeler dijital modele aktarılmış olup iki farklı üretim karşılaştırılmış ve ihtiyaca göre manuel ve dijital modellerde revizyona gidilmiştir. Çalışmanın devamında bu üretimler modüler kullanıma entegre edilecek şekilde hücrel özdevinimle kullanıma uygun hale getirilmiştir. Simülasyonlar ile tasarımların mekânsal potansiyelleri araştırılmış olup çalışmanın devamında üretime yönelik araştırmalar yapılarak tasarım sonlandırılmıştır. **Şekil 1**'de sürecin akış şeması görülmektedir. Farklı üretim yöntemlerinin entegre olarak yürütüldüğü bir araştırma süreci geliştirilmiştir. Origami ve hücrel özdevinimin entegrasyonunun mümkün olduğunu ve bu entegrasyonla tasarımcının beliren sistemler tasarlayabileceğini kanıtlama üzerine çalışma devam etmiştir.

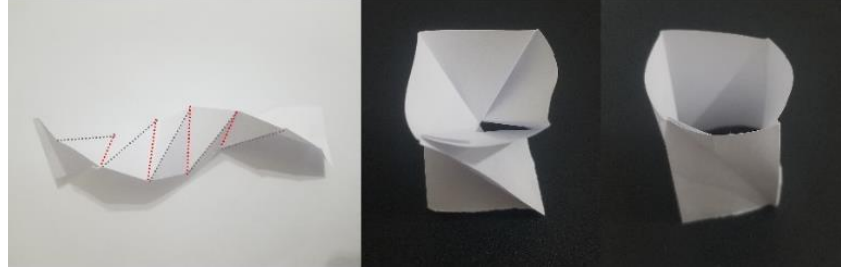
Şekil 1: Çalışmanın akış şeması (Flowchart of the study) (Developed by the author).



Origami ile tasarlanabilecek farklı form alternatiflerine göz atmak için öncelikle origamiyle ilgili birkaç terim hakkında bilgi vermek gerekebilir. Temel olarak origamiyi tarif etmek için kat izlerine vadi (valley) ve tepe (mountain) adı verilir. Tepe ve vadi çizgilerinin birbirlerine göre konumları ise origaminin davranışını belirler. Tepe ve vadi çizgilerinin ardışık ve paralel olarak sıralanmasına temel katlama denilebilir.

Tepelerin arasına diyagonal şekilde vadi çizgileri geldiğinde formlar farklılaşmaya ve düz bir düzenden çıkmaya başlar. Çalışma kapsamında birkaç origami deseni denenmiştir. Yapılmak istenen kabuk tasarımı için uygun form arayışı manuel şekilde sürdürülmüştür. Bu form arayışlarına mevcut örnekler ve araştırmalar yön vermiştir.

Şekil 2: Tepe ve vadi çizgilerinin diyagonal birleşimi ile kıvrılma davranışı göstermesi (Torsion behavior with diagonal combination of hill and valley lines) (Developed by the author).



Şekil 2'de basit katlamalarla oluşturulan formlar, kağıdın ufak bir müdahaleyle farklı özellikler kazandığını göstermektedir. Katlanan kağıt 2 ucundan birleştirildiğinde kendi içinde kenetlenen, taşıyıcı özellik kazanmış bir forma dönüşmektedir. Katlamalar karmaşıklaştıkça form da farklılaşmaktadır fakat her katlama tekniği her tasarım için uygun olmayabilir. Bu noktada tasarımcının deneme yanılma ile uygun formları deneyimlemesi ile süreç ilerlemiştir. Bir başka desen olarak origami örneklerinde sıklıkla rastlanan "Miura" katlaması denenmiştir (**Şekil 3**). Açılıp kapanma potansiyelinin yüksek olması ve tamamen aynı birimlerden oluşması bu modelin olumlu yönlerindedir fakat bu hareket potansiyeli ile oluşturulan mekanlara bakıldığında farklılıklar görülmemektedir. Desenin genel olarak bir bütün halinde çalışmasının tasarımı tekdüzeliğe götürebileceği sebebiyle farklı alternatiflere yönelinmiştir.

Şekil 3: Miura katlaması (Miura folding) (Developed by the author).

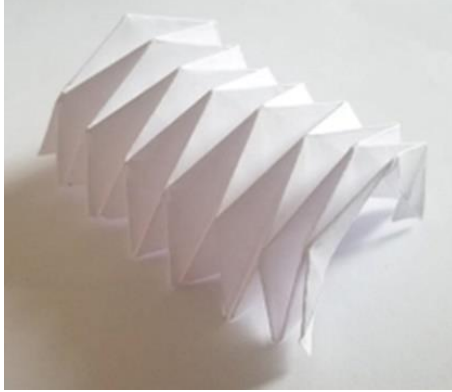
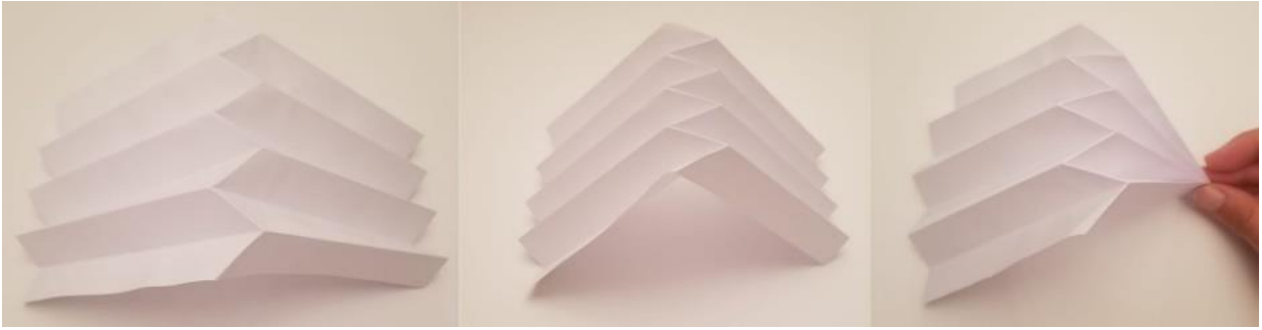


Çalışmanın devamında tasarımın mekan tanımlayacak olmasından dolayı açıklık geçilebilen farklı katlama tekniklerine yönelinmiştir.

Jackson tarafından 'açıklık' başlığı altında ele alınan örnekler bu noktada ilham verici ve origamiyi anlamak açısından faydalı bulunmuştur. V katlama ve X katlama olarak ele alınan örnekler (Jackson, 2011) kağıdın strüktürel özelliklerini desteklemekle birlikte mekan tanımlama açısından da başarılı bulunmuştur. Bu örneklerin denemeleri **Şekil 4** ve **Şekil 5**'te görülmektedir.

Desenlerin basit olması üretim gibi konularda bir avantaj olsa da Miura örneğinde olduğu gibi oluşan mekanlar ve tasarım açısından belirme kavramını destekler nitelikte farklılaşmalar arandığından dolayı yeni desen araştırmalarına yönelinmiştir.

Şekil 4: Açıklık tipi origamilerde V katlama (V type folding in span type origami patterns) (Developed by the author).



Şekil 5: Açıklık tipi origamilerde X katlama (X type folding in span type origami patterns) (Developed by the author).

Bu noktada üretken sistemlerin entegrasyonunu da sağlayabilmek için modüler çalışılabilecek formlar üzerinde durulmuştur. Genel olarak bu örneklerin hepsi modüler olarak kullanılabilirler olsa da oluşturacakları mekanlar açısından olumlu bulunmamıştır. Origami deseninin farklı noktalarında farklı açılıp kapanmalar sağlanmaması, tasarımın esnek ve dönüştürülebilir olmasına engeldir. Bu da direkt olarak araştırması yapılan "belirme" kavramına zıt düşmektedir.

Bu noktada ise yapılan araştırmalar sonucu “parabol” özelliğli origamiler denenmiştir. Parabol origamiler strüktürel açıdan tanımlanması karmaşık olmakla birlikte oldukça dayanıklı ve esneklerdir. (Jackson, 2011) aynı zamanda modüler kullanıma uygun olan bu origami örnekleri çalışmaya uygun bulunarak denenmiştir. **şekil 6**’da görölen kare modöl istenilen tarafının kaldırılıp indirilmesiyle harekete imkan veren bir yapıdadır. Aynı zamanda hiperbolik parabol formuna sahip olması, alışkın olunan origami örneklerinden farklılık göstermektedir. Bu origami örneğinin hem modüler kullanıma uygunluğu, hem eğrisel olması sebebiyle oluşan görsel etkisi hem de oluşturduğu mekanların potansiyelleri sebebiyle çalışmanın devamı için uygun görölmüştür.



şekil 6: Parabol tipi katlama
(Parabola type origami pattern)
(Developed by the author).

Tablo 1’de yukarıda bahsedilen origami desenlerinin deneyimlenmesi ve tasarımcıya sağlayacağı avantaj ve dezavantajlar bir arada verilmiştir. Bu çalışmadan edinilen bilgiler ile en olumlu bulunan modöllerle çalışmaya devam edilmiştir.

3.1 Kinetik Dijital Model Üretimi (Kinetic Digital Model Production)

Desenin dijital modellemesi için origamiye uygunluğu açısından kinetik bir dijital model elde edilmeye çalışılmıştır. Yapılan araştırmalar sonucunda Rhino Grasshopper kullanılarak Crane eklentisi üzerinden origami çalışılmasına karar verilmiştir. Origami üretimi ve simölasyonu amacıyla kullanılabilen bu eklentide mevcut origami desenleri deneyimlenebildiği gibi kullanıcı kendi origami desenini de tanımlayabilmektedir. Tasarımcıya ilham verebilecek farklı örnekler de

eklentinin beraberinde gelmektedir. Bu dosyalar incelendiğinde tasarımcının kendi desenini çizip tepe ve vadi çizgilerini tanımlamasıyla bu desenin simülasyonunu gerçekleştirebileceği görülmüştür. Eklenti içerisinde çeşitli malzemelerin davranışını simüle edebilmek adına farklı rijitlik değerleri vermek de mümkündür. Bu da üretimleri gerçeğe uygun şekilde görmeyi sağlamaktadır.

Tablo 1: Farklı desenlerin oluşturduğu formlar, formların avantajları ve dezavantajları (Forms created by different patterns, advantages and disadvantages of forms) (Developed by the author).

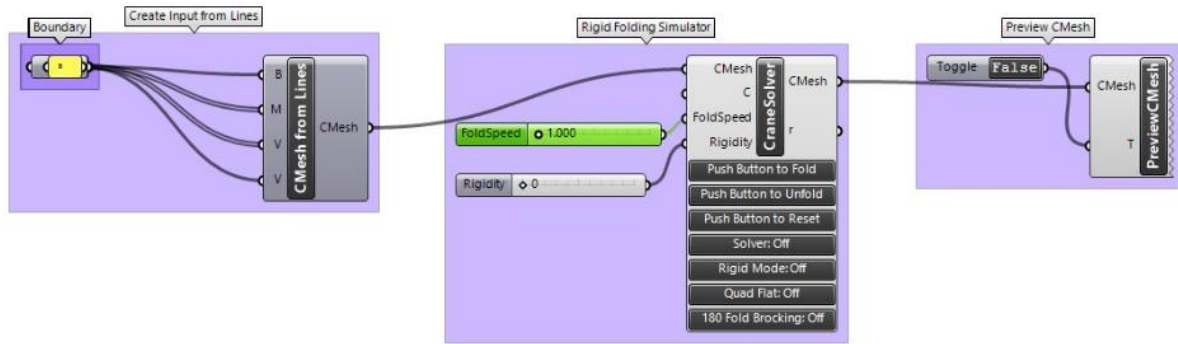
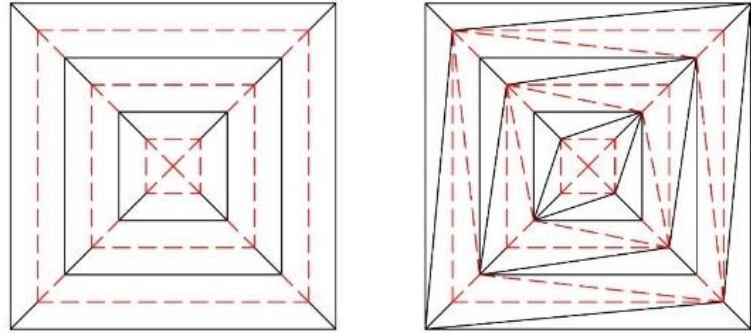
Desen Adı	Katlama Deseni	Kağıt Katlama ile Model Üretimi	Avantaj	Dezavantaj
Diyagonal Katlama			<ul style="list-style-type: none"> -Temel bir katlama ile farklı kapalı form oluşumu mevcuttur. -Modülün açık ve kapalı olarak kullanımı farklı potansiyeller getirebilir. 	-Formun açık ve kapalı halinin karesel olması tasarımda farklılaşmaya engel olabilir.
Miura Katlaması			<ul style="list-style-type: none"> -Kinetik kabiliyeti yüksek bir modeldir. -Aynı birimlerin tekrarıyla üretimi kolaydır. -Tamamen aynı birimlerin tekrarından oluşması modüler çalışmayı destekleyebilir. 	<ul style="list-style-type: none"> -Kinetik kabiliyeti yüksek olsa da farklı formlara girme açısından zayıf bir modeldir. -Farklı mekanlar oluşturma amacına uygun bir model değildir.
Açıklık Tipi V Katlama			<ul style="list-style-type: none"> -Açıklık geçmesi açısından taşıyıcı anlamda olumludur. -Üretimi kolaydır. 	<ul style="list-style-type: none"> -Tek tip mekanlar sağlaması açısından olumsuz bulunmuştur. -Modüler kullanım sırasında farklılaşmaya engel olabilir.
Açıklık Tipi X Katlama			<ul style="list-style-type: none"> -Kemer formu taşıyıcılık ve mekansal açıdan olumludur. -Aynı birimlerin tekrarıyla üretimi kolaydır. 	<ul style="list-style-type: none"> -Kemer formu daha bütüncül bir yaklaşım oluşmasına sebep olmuştur. -modüler kullanımda farklılaşmanın önünde engel çıkartacak bir model olabilir.
Kare Parabol Katlama			<ul style="list-style-type: none"> Parabol formuna sahip olması diğer örneklerden farklılaşmasını sağlamıştır. -Kinetik kabiliyeti çok yüksektir. -Modüler kullanım için uygundur. -Hüresel özdevinimle belirlenecek kurallarla farklı tasarımlara olanak sağlayabilir. 	<ul style="list-style-type: none"> -Farklı modüllerin birleşimi sırasında çok sivri ve tanımsız senaryoya göre kullanışsız mekanlar oluşabilir.
Altıgen Parabol Katlama			<ul style="list-style-type: none"> Parabol formuna sahip olması diğer örneklerden farklılaşmasını sağlamıştır. -Kinetik kabiliyeti çok yüksektir. -Modüler kullanım için uygundur. -Hüresel özdevinimle belirlenecek kurallarla farklı tasarımlara olanak sağlayabilir. 	<ul style="list-style-type: none"> -Modülün altıgene dönüştürülmesi ile oluşan mekanlar tasarım ve kullanım açısından daha olumludur.

Üzerinde çalışılan bu modüler desen için ilk aşama olarak desen çizilmiş ve çizgileri tepe ile vadi olarak tanımlanmıştır. Mevcut model katlandığında ise simülasyonun manuel denemelere uygun şekilde çalışmadığı görülmüştür. Manuel denemelerde kağıt kolay bir şekilde katlanmaktadır ve hareket kabiliyeti çok yüksektir. Dijital modelde ise

bunun aksine hareketi kısıtlanmaktadır ve katlanma hareketi kararsızdır. Bu noktada araştırmamızın başında bahsedilen ‘rijit origami’ kavramı önemlidir. Oluşturulan bu modüllerin rijit origami olmaması dijital modelleme konusunda problem olmuştur. Bu modülde kağıtlar tamamen düz parçalar olarak çalışmamakta; sistemi hareket ettiren kırılma ve eğilme gibi davranışlar da göstermektedir ve bu da simülasyonun çalışmamasına sebep olmuştur.

Bu nedenle aynı formu rijit origami olarak üretmek mümkün mü bu konuda çalışmalar yapılmıştır. Düz bir kağıdın kırılma hareketi; kağıdın köşelerinden diyagonal bir kat izi eklendiğinde ortadan kalkar. Bu nedenle bütün dörtgen birimlerin kırılmasını ortadan kaldırmak için bu dörtgenler köşegenleri boyunca eklenen vadi veya tepe çizgileriyle iki üçgene ayrılmıştır.

Şekil 7: Origami deseninin rijit origami haline dönüştürülmesi (Converting the origami pattern to the rigid origami) (Developed by the author).

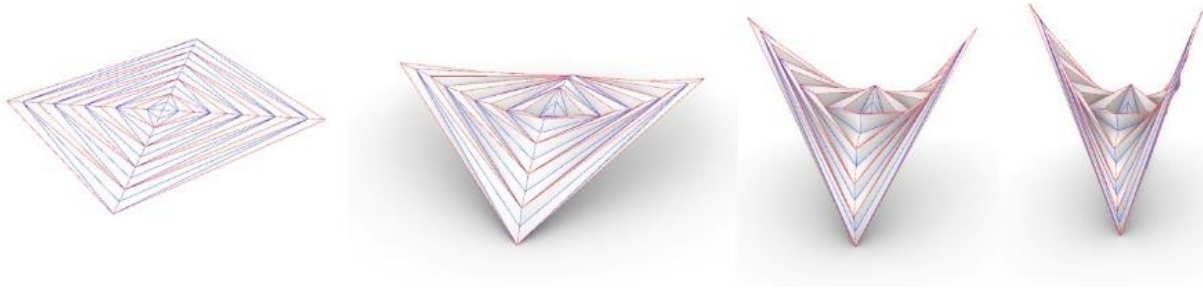


Şekil 8: Rijit origami deseni ile crane eklentisi kullanılarak dijital model üretimi (Digital model generation using the crane plug-in with the rigid origami pattern) (Suto, n.d.).

Rijit origami oluşturulduktan sonra “Crane” eklentisi kullanılarak bir modülün simülasyonu gerçekleştirilmiştir (Şekil 9). Oluşturulan bu simülasyonla origaminin oluşturduğu formlar incelenebilecek ve modüler kullanım için modeller oluşturulabilecektir. Bu aşamadan

sonra ele alınacak bir diğer konu ise modüler sistemin oluşturulması olacaktır. Hücresel özdevinim kullanımıyla oluşturulacak belirli kurallara göre farklı düzende form arayışları geliştirilebilecektir. Böyle bir origami deseninin farklı kombinasyonlarla bir araya gelmesiyle oluşturabileceği mekan alternatifleri ile ilgili dijital bir katalog oluşturulabilecektir.

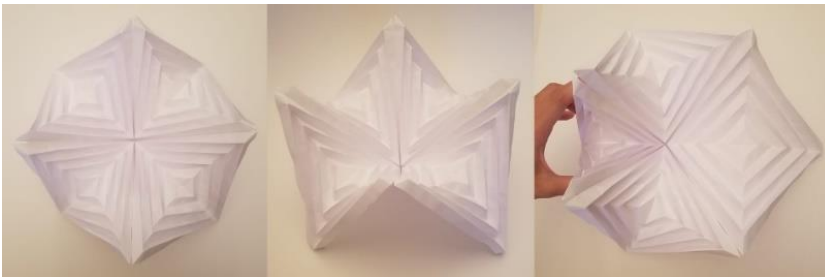
Şekil 9: Dijital modelleme ile modülün hareketinin simüle edilmesi (Simulation of the movement of the origami module by digital modelling) (Developed by the author).



3.2 Modüler Sistem Önerisi (Modular System Proposal)

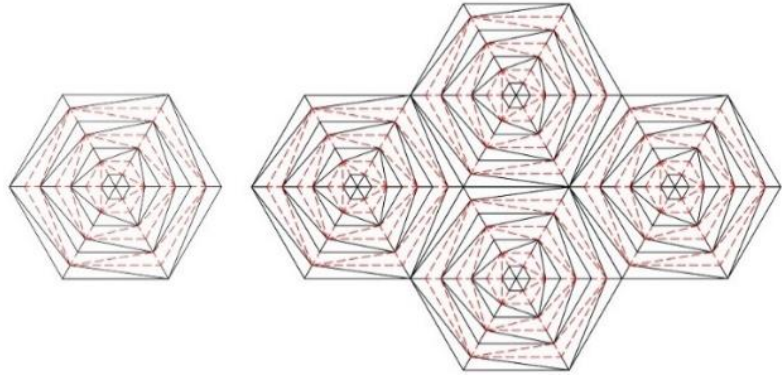
Önceki bölümde belirtildiği gibi çalışmanın devamında modüler bir sistem tercih edilmiştir. Modüllerin her biri aynı origami deseni ile üretilip bu modüller birbirlerine eklenebilir. Her birim kendi içinde hareket kabiliyetine sahip olduğu için bir araya gelerek oluşturulan form da dinamik olacaktır. Modüllerin bir araya gelişinde ise bir kural belirlenebilir. Bu kuralın belirlenmesinde hücresel özdevinim kullanımı planlanmaktadır. Böylelikle oluşturulacak sistem hem kendi birimlerinin hareket etme durumundan dolayı hem de birimlerin kombinasyonunda oluşacak çeşitlilikten dolayı tasarımcıya pek çok alternatif sunar.

Bu modüler sistem çalışması için manuel çalışmalara devam edilmiş ve **Şekil 9**'da görülen modül çoğaltılarak bir arada çalışma durumu gözlemlenmiştir. 4 birimin bir araya gelmesiyle oluşturulan form **Şekil 10**'da görülmektedir. Şekilde görüldüğü gibi modüller aynı forma sahipken veya farklı açıklığa sahipken birbirleriyle bütüncül bir şekilde kabuk tasarımına olanak sağlamıştır.



Şekil 10: Kare modüllerin bir arada kullanımı ve hareketi (Combination of the square modules and their movements) (Developed by the author).

Bu modüler birleşimde görüldüğü kadarıyla sistemin mekanik potansiyelleri olumlu olsa da oluşturacağı mekanlar konusunda bazı problemler vardır. Kare bir birim seçilmesi, birleşim noktalarında sivri ve tanımsız mekanlar oluşturmaktadır. Kabuk açık olarak kullanıldığında problem olmayacak bu durum; birimler kapandığında oluşan mekanlar açısından sorun teşkil etmektedir. Bu sebeple, aynı katlama tekniğinin farklı çokgende oluşturacağı etkinin araştırılması amacıyla altıgen modül oluşturulmuştur (Şekil 11).



Şekil 11: Origami deseninin altıgen modülde üretimi (Production of the origami pattern in the hexagonal module) (Developed by the author).

Altıgenlerin daha geniş açıyla birleşmeleri; modüllerin açılıp kapanması sırasında oluşan mekanları kullanıcı için daha kullanışlı hale getirmiştir. Bu sebeple aynı desenin altıgen bir modülde kullanılmasına karar verilmiştir (Şekil12).



Şekil 12: Altıgen origami modülü (Hexagonal origami module) (Developed by the author).

Yapılan manuel denemeler sonucunda altıgen modüllerin kabuk tasarımı için daha kullanışlı olduğu sonucuna varılmıştır. Kare modüllere kıyasla daha az tanımsız ve kullanışsız mekanlar oluşturması yönüyle altıgen birimler olumlu bulunmuştur.

Modüllerin birleşiminde kimi birimler kapalı kimi birimler açığa yakın şekilde bir forma sahip olabilir. **Şekil 13**'te görülen birimlerin hepsi aynı boyuta sahip olsa da kapalı / açık olma durumlarından dolayı plan düzleminde farklı boyutlarda gözükmektedir. Sürecin devamında modüllerin bir araya gelişinde altıgen gridal bir düzen kullanılarak hücresel özdevinimle farklı alternatif araştırmaları yapılacaktır.

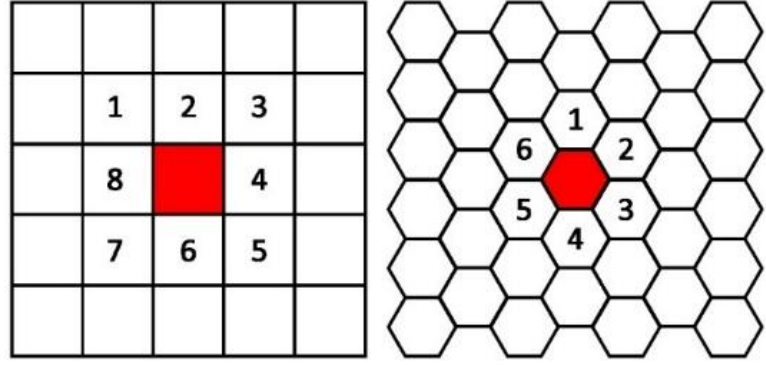


Şekil 13: Altıgen modüllerin birleşimi ve farklı hareketleri (Combination of the hexagonal modules and their different movements) (Developed by the author).

Hücresel özdevinim; homojen bir grid üzerinde oluşturulan hücrelerin komşuluk ilişkilerine göre etkileşim durumu olarak özetlenebilir. Belirlenen çeşitli kurallar çerçevesinde başlangıç formunun değişip dönüşümünün gözlemlenebildiği bir üretken sistemdir. Proje kapsamında modüler bir tasarıma gidilmesi de hücresel özdevinim kullanımına elverişli bir ortam hazırlamaktadır.

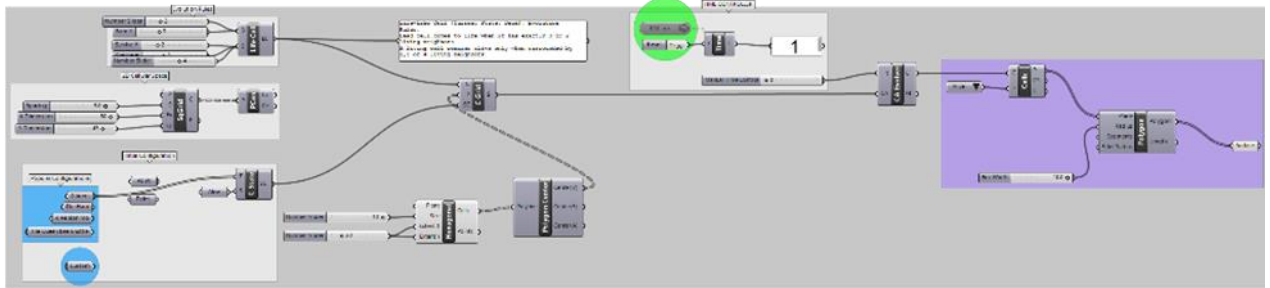
Öncelikle hücresel özdevinimin farklı gridal düzenleri hakkında araştırmalar yapılmıştır. Conway'in hayat oyununda bulunan kare gridde hücrelerin 8 tane komşusu bulunmaktadır ve belirlenen kurallara göre bir sonraki aşamada hücreler doğar, yaşar veya ölür. (Herr, 2016) Altıgen gridde ise bir hücrenin 6 komşusu vardır. **Şekil 14**'te gridal düzenler ve bir hücrenin sahip olduğu komşular görülmektedir.

Şekil 14: Kare ve altıgen gridal düzen (Square and hexagonal grid layout) (Developed by the author).



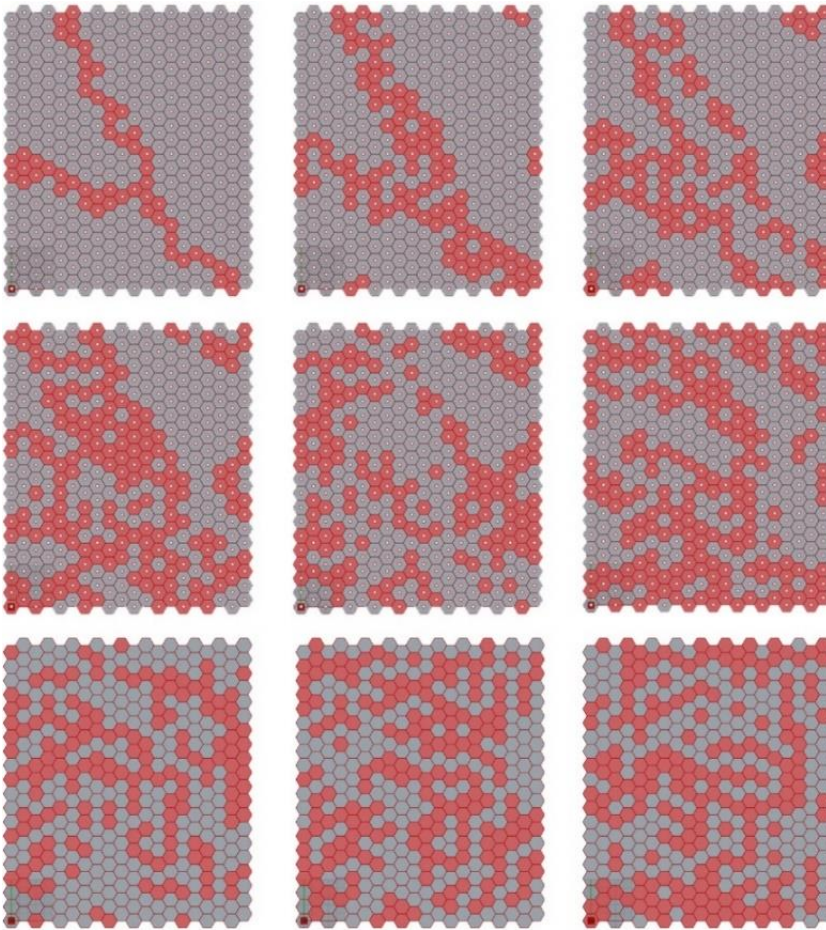
Şekil 15: Rabbit eklentisi kullanımıyla hüresel özdevinim modeli oluşturma (Build a cellular automata model using the Rabbit plug-in) (Developed by the author).

Altıgen hüresel özdevinim modeli oluşturmak için Grasshopper'da bulunan Rabbit eklentisi araştırılmıştır. Eklentide bulunan grid için altıgen grid tanımlandığında hayat oyunu mantığıyla çalışan, bir hücrenin kaç komşusu olduğunda nasıl bir davranış göstermesinin tanımlanabildiği bir model geliştirilmiştir. Grasshopperda oluşturulan model genel hatlarıyla başlangıç hücre düzeni, davranış için kurallar, grid tanımlanması ve sonrasında bunların bir araya gelerek simüle edildiği kısım olarak tanımlanabilir (Şekil 15).



Hüresel özdevinimin kullanımı için farklı başlangıç durumları düşünülmüştür. Öncelikle kabuğun bulunacağı mekana göre kullanıcı hareketlerinin oluşturduğu bir rota varsa bu rotanın başlangıç durumu olarak belirlenip kurallarla değişimi gözlemlenecektir. Hücrelerin başlangıç durumunun senaryodan gelen bir karar olması, projenin yere özgü olma durumundan dolayı olumlu bir durumdur. Fakat hüresel özdevinimin beklenmedik sonuçlar üretme durumundan dolayı son ürüne gidiş açısından başarılı olma durumu farklı denemelerle değerlendirilecektir.

Şekil 16'da bir rota ile başlangıç hücre düzeni oluşturulan hücresel özdevinim modeli görülmektedir. Bu modelde hücrelerin yaşaması için 2 ve 3 komşusu, doğmaları için 2, 3 ve 4 komşusu olması gerekmektedir. 2. Ve 3. Aşamadaki model rotayı koruyor olsa da sonraki aşamalarda başlangıçtaki rota oluşturma durumundan uzaklaşmış; çok daha karmaşık ve dağınık bir hücre düzenine ulaşmıştır. Bu modelin ilerleyen aşamalarında pek çok hücrenin tek başına kalıyor olması; alternatiflerin modüler sisteme aktarılmadan önce manuel bir elemeden de geçmesi gerektiğini de göstermektedir. Tek veya ikili hücreler bulunuyorsa bunlar modelden eksiltip, üretim ve kullanım açısından modelin optimizasyonu sağlanacaktır.

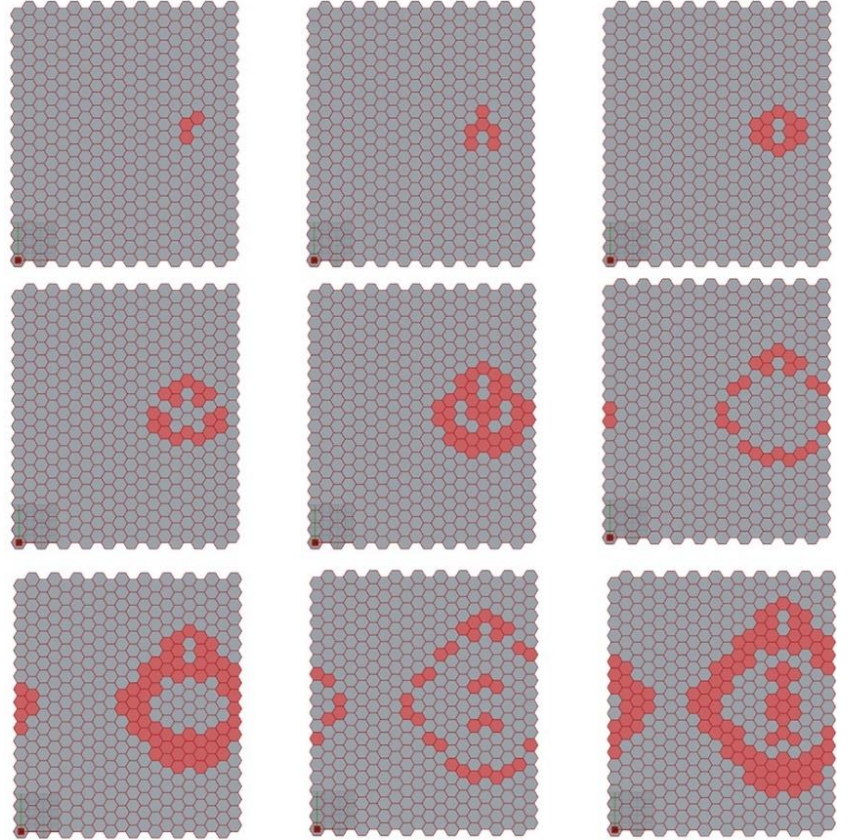


Şekil 16: Kullanıcı rotası ile oluşturulan hücresel özdevinim modeli (Cellular automata model generated with user route) (Developed by the author).

Başlangıç rotası belirlenmesi; modelin yere özgü şekilde tasarlanması açısından olumlu bulunmuştur. Bu noktada rotayı koruyabilmek açısından hücresel özdevinim modelinin hangi aşamasının seçildiği önemlidir. Daha geniş ve açık alanlarda ise başlangıç rotasının sonraki

aşamalarda değişmesi ve farklı noktalara dağılıyor olması farklı mekanlarda farklı deneyimler yaşatmak açısından kullanışlı bulunmuştur.

Önceki örnekte senaryoya göre kullanışlı olabilecek durumlar değerlendirilmiş ve oluşan karmaşık sonuçtan dolayı daha basit bir başlangıç düzeni de kullanılıp sonuçları araştırılmıştır. Bu başlangıç düzeni, Grasshopper'da kullanılan hücresel özdevinim modelindeki mevcut popüler konfigürasyonlardan seçilmiştir. Buradaki amaç, daha düzenli ve bütüncül bir modelde oluşacak sonuçları görmek ve hücresel özdevinim farklı kullanımlarını belirme kavramı açısından araştırmaktır. 3 hücreyle başlayan bu modelde daha düzenli sonuçlara ulaşılmıştır (**Şekil 17**). Hücrelerin dağılımının düzenli olması kabuğun daha bütüncül olmasını sağlamıştır. Bu da oluşturulan mekanlar açısından önemli bir avantaj olacaktır. Aynı zamanda üretim ve yapının strüktürel özellikleri de bu bütüncül yapı ile desteklenmiş olacaktır.



Şekil 17: Popüler konfigürasyon ile oluşturulan hücresel özdevinim modeli (Cellular automata model generated with popular configuration) (Developed by the author).

Hüresel özdevinim tasarıma entegrasyonu ile farklı tasarımlara gidildiği görülmüştür. Hüresel özdevinimin kullanılış şekli ise tasarımın kullanım senaryosuna göre belirlenebilecek olup; tasarımcıyı daha kapalı ve bütüncül bir kabuk tasarımına veya daha parçalı ve belirlenen alana yayılan bir tasarıma götürebileceği sonucuna varılmıştır. Sonraki aşamalarda bu tasarımların daha küçük ölçekli örnekleri dijital model yardımıyla simüle edilecek olup oluşturacağı mekanlar açısından gözlemlenmiştir.

4. FABRİKASYON ARAŞTIRMALARI (FABRICATION STUDIES)

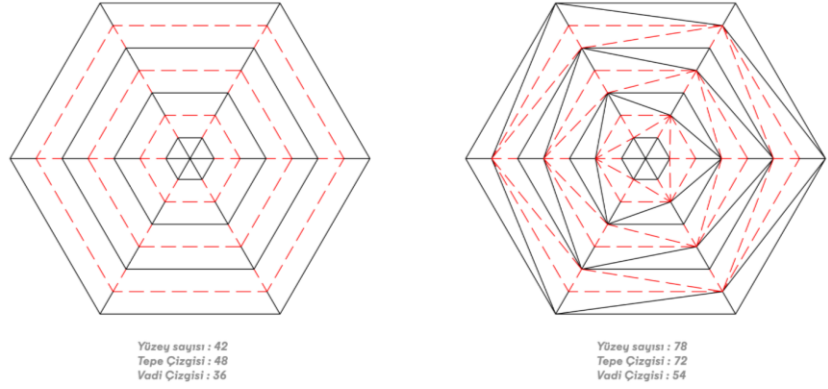
Bu bölümde; origaminin kinetik davranışını destekleyebilecek malzeme ve kinetik sistem araştırmaları yapılacaktır. Origami ile yapılan pek çok yapısal örnek incelendiğinde; dayanımı yüksek malzemelerin kullanıldığı görülmüştür. Özellikle çoğunda ahşap kullanımı görülmektedir. Bu çalışmada mevcut çalışmalardan farklı bir teknik kullanılması için farklı üretim metotları üzerine düşünülmüştür. Modelin rigid origamiye çevrilmiş hali dijital modellemeyi destekleme amaçlı olup; fabrikasyonu rigid origami olmayan halinde tasarlanacaktır. Bu da modelin kıvrılma davranışına sahip olacağını göstermektedir. Bu sebeple yüzeylerin üretimi için daha esnek malzeme kullanımına yönelmeye karar verilmiştir. Malzemeyle birlikte düşünülmesi gereken bir diğer konu da kinetik sistemin nasıl kurulacağıdır. Sistemi hem ayakta tutacak hem de açılıp kapanmasını sağlayacak bir strüktür bu malzemeyi desteklemelidir.

4.1 Malzeme ve Mekanik Sistem Araştırmaları (Material and Mechanical System Studies)

Literatür araştırmasında da belirtildiği gibi yaygın olarak ahşap veya polimer levhalarla oluşturulan origami örneklerinin var olduğu görülmüştür. Bu çalışmada ise levhalarla oluşturulan origami örneklerinden farklılaşmak adına; origamiyi oluşturdukları yüzey üzerinden değil, bu yüzeyleri oluşturan katlama deseni ile bir iskelet sistem halinde üretime yönelinmiştir.

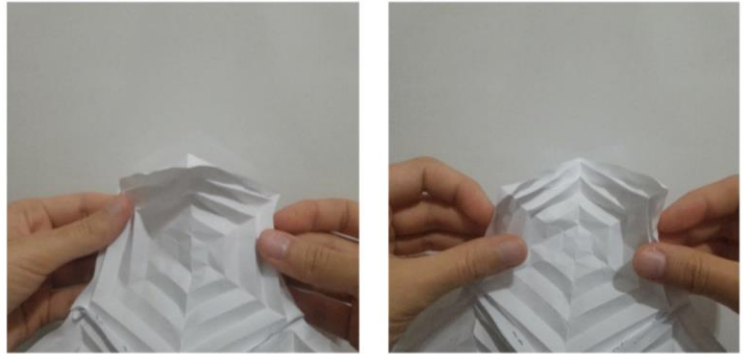
Bu noktada üretim için karar verilirken araştırmanın başında konusu geçen “rijit origami” kavramını ele almak gerekmektedir. Desenin manuel modellerinde ele alınan desen rijit origami özelliği göstermemektedir. Kağıdın kıvrılma özelliğinden de faydalanarak form almaktadır. Bunu dijital modele aktarırken ise eklentinin çalışma mantığından dolayı tanımlanan desen rijit origami olmalıdır.

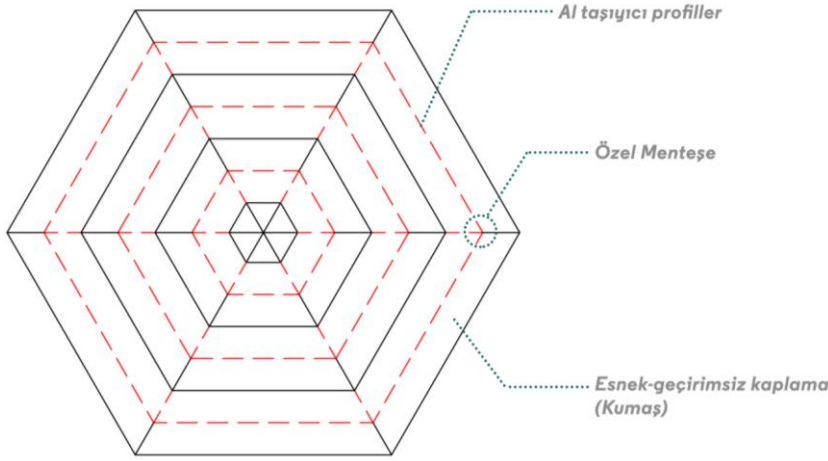
Şekil 18: Manuel denemede kullanılan desen ile dijital modeldeki rijit origami deseninin karşılaştırılması (Comparison of the pattern used in the manual model and the rigid origami pattern in the digital model) (Developed by the author).



Şekil 18'de ise manuel denemelerin oluşturulduğu origami deseni ile dijital modelin oluşturulduğu desen karşılaştırmalı olarak verilmiştir. Desenin dijital ortamda üretimi için kullanılan rijit origami modeli; yüzey sayılarının ve tepe ile vadi çizgilerinin sayılarının fazla olmasından dolayı; üretimde Origaminin gerçek hayata uygulanmasında kısıtlardan birinin rijit origami olmama durumu olduğundan daha önce bahsedilmiştir. **Şekil 19'**da manuel deneme ile modülün hareketi görülmektedir. Farklı yönlerde hareket edebilen bu modülün davranışları incelendiğinde ve dijital model ile de karşılaştırması yapıldığında; kat izlerini oluşturan çizgilerin düz durduğu ve kağıdın yüzey olan yerlerinin kıvrıldığı görülmüştür. Dijital modelde deseni rijit origamiye çevirme müdahalesi de bu tespitleri doğrular niteliktedir. Bu gözlemler sonucunda origaminin manuel olarak üretildiği desene uygun bir sistem düşünülmüştür. Origaminin kat izlerinin düz birer çizgi olarak hareket etmesi ve aynı yüzeyi çevreleyen 4 çizginin farklı açılarla birleşiyor olması; kağıda kıvrılma hareketini yaptırdığı için bu çizgilerin profiller ile oluşturulup kabuğun geçirimsizliğinin kumaş benzeri esnek bir malzemeyle sağlanması sistem açısından olumlu bulunmuştur (**Şekil 20**).

Şekil 19: Manuel denemede modülün hareketinin incelenmesi (Investigation of movement of physical model) (Developed by the author).





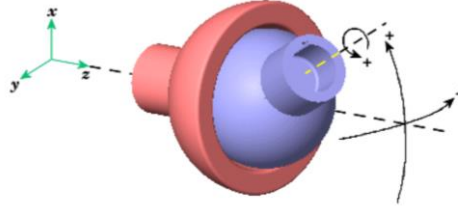
Şekil 20: Bir modülün fabrikasyonu için önerilen sistem (System proposal for the production of a module) (Developed by the author).

Bu sistemi kurgularken **Şekil 18**'den de yararlanarak, sistemin yüzeylerinin ve parçalarının fazla olması durumu üretim açısından olumsuz bulunup, rijit origami modelinin sadece dijital ortamda kalmasına, üretimin manuel çalışmalarda kullanılan haliyle gerçekleştirilmesine karar verilmiştir. Sisteme karar verilirken gerekli mekanik sistem için de araştırmalar yapılmıştır. Alüminyum profillerle oluşturulacak origami modüllerinin bir araya geldiklerinde hareketlerinin sağlamaları için farklı akslarda harekete izin verecek menteşelerle bağlanması gerekmektedir. Bu karara da manuel denemelerle hareketin incelenmesi sonucu ulaşılmıştır (**Şekil 19**). Farklı akslardaki hareket için “çok akslı menteşe” (*multiaxial joint*) anahtar kelimeleriyle araştırmalar yapılmış olup, bu kelime ile çıkan sonuçların birçoğunun omuz hareketimizi sağlayan eklemler ilgili araştırmalar olduğu görülmüştür.

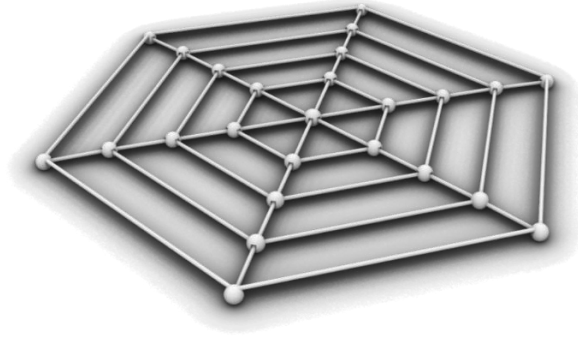
Bunun sonucunda bu fikir de araştırmayı “küresel menteşe” anahtar kelimesine götürmüş ve farklı örneklerle yönlendirmiştir. Tek noktada birleşen minimum 3 maksimum 6 alüminyum profilin bağlantısı bu tarz küresel menteşelerle yapılacak olup, ihtiyaç olan hareket sağlanacaktır (**Şekil 21**). Sisteme ait görseller **Şekil 22** ve **Şekil 23**'te görülmektedir. Alüminyum profillerle oluşturulmuş “katlama deseni” özel menteşelerle birleştirilerek origaminin her türlü belirme durumunu sağlayabilmesi için serbest şekilde hareketi sağlanmıştır.

Tasarımın esnek ve beliren bir tasarım olması açısından önemli olan hareketli sistemin sabit durumlara da adapte olacak şekilde tasarlanması gerekmektedir. Kullanıcılar tarafından kabuğun hem sabit hem de hareketli hali deneyimlenmelidir. Böylelikle hareketli zamanlarda belirme kavramı direkt olarak deneyimlenirken sabit zamanlarda da beliren kabuğun kullanıcıya sağladığı farklı mekanlar net bir şekilde görülebilecektir. Bu sebeple tasarımda, küresel menteşelere entegre edilecek ve hareketi sabitleyecek bir kilit sistemi de bulunmalıdır.

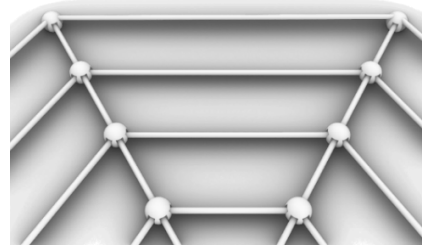
Şekil 21: Çok akslı küresel menteşe (Multiaxial spherical joint) (Piltan et al., 2016).



Şekil 22: Bir modül için önerilen sistem (Proposed system for the module) (Developed by the author).

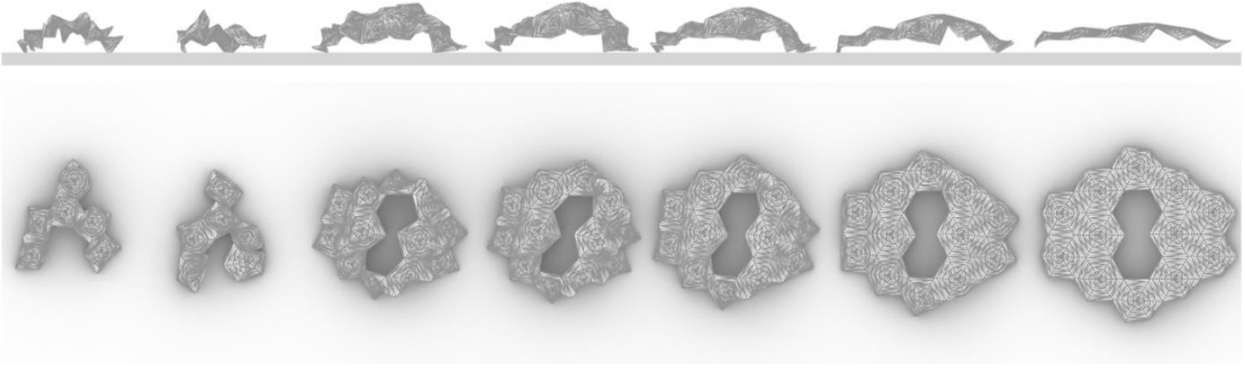


Şekil 23: Sistemin farklı açılarla birleşimi ve hareketi için özel menteşelerin kullanılması (Use of special hinges for combination and movement of the system at different angles) (Developed by the author).



5. DİJİTAL MODEL YARDIMIYLA FARKLI ALTERNATİFLERİN ÜRETİLMESİ (PRODUCTION OF DIFFERENT ALTERNATIVES WITH DIGITAL MODELS)

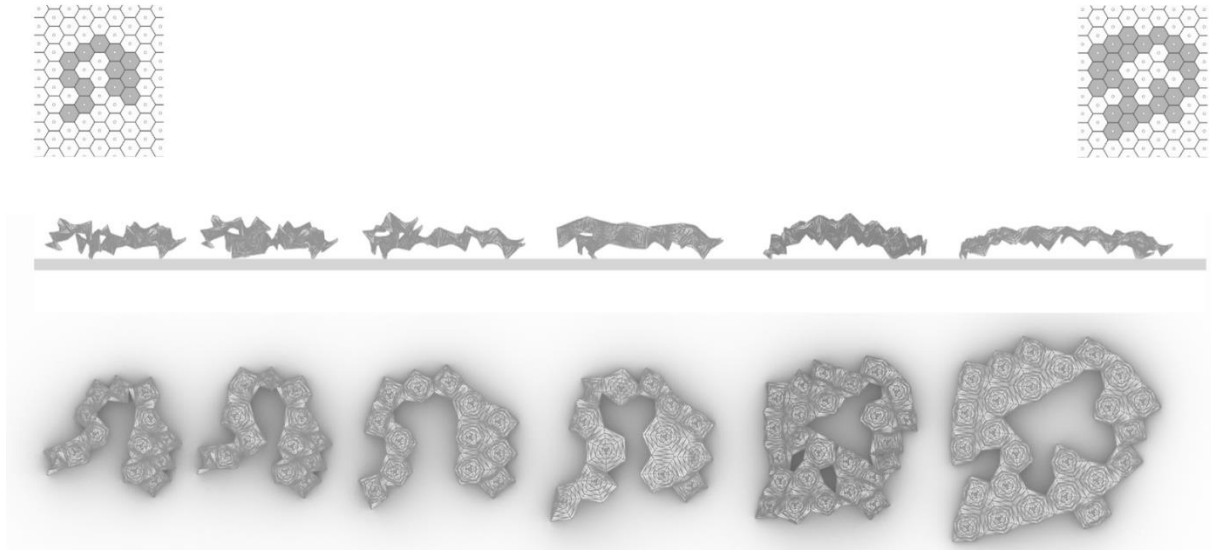
Bu bölümde hücresel özdevinim ile oluşturulan hücre düzenleri origami ile bir araya gelerek farklı mekan belirmeleri üzerine araştırmalar yapılmıştır. Önceki bölümlerde de bahsedildiği gibi bir rota üzerinden



kurulan sistemlerle daha düzenli sistemlerin oluşturduğu formlar farklılaşmaktadır. **Şekil 24**'te popüler konfigürasyonlarla oluşturulan hücre düzeni alternatifleri görülmektedir.

Katlama miktarı arttıkça, daha kapalı bir kabuk oluşmaktadır. Bu da tasarımcıyı, farklı kullanım senaryolarına adapte olabilecek bir kabuk tasarımına yönlendirebilir. Aynı zamanda son iki örnekte görülen açık düzenin aksine, strüktürel açıdan da daha bütüncül ve kendini destekleyen bir tasarım ortaya çıkmıştır. Orta kısımda bulunan açıklık; oraya doğru olan hücrelerin daha serbest hareket etmesini sağlamaktadır.

Şekil 24: Popüler konfigürasyon ile oluşturulan hücre düzeni (Cell layout created with popular configuration) (Developed by the author).



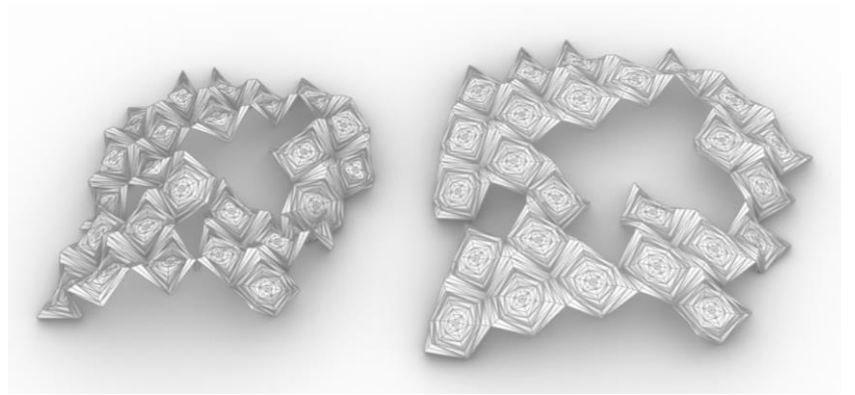
Şekil 25'teki model setinde başlangıç rotası belirlenmiş ve bu hücre düzeni ile hücresel özdevinimde oluşan 2. Adım ele alınmıştır. Hücresel özdevinim kullanımı, tasarımı tamamen farklı bir noktaya taşımaktadır. Başlangıçta kapalı bir forma sahip olmayan hücre düzeni, hücresel

Şekil 25: Kullanıcı rotası ile oluşturulan hücre düzeninin dijital modelleri (Digital models of cell layout created by user route) (Developed by the author).

özdevinim uygulanınca kapalı ve ortasında açıklığı bulunan bir form haline gelmiştir. Bütün bu modellerin farklı kapanma durumları incelendiğinde de aynı hücre düzeni ile oluşturulan farklı modellerde, bağlantısı az olan modüllerin daha serbest bir şekilde hareket ettiği gözlemlenmiştir. Birbirinden uzak olan modüller birbirine yaklaşp, daha özel ve tanımlı mekanlar oluşturmuşlardır (Şekil 26).

Çalışmanın devamında ise Şekil 25'te belirlenen rota ile oluşturulan tasarımın kullanıcı müdahalesiyle ve düzenli bir katlama ile oluşturabileceği formlar simülasyon ile araştırılmıştır. Şekil 26'da modelin düzenli olarak bütün modüllerinin kapanması ile aldığı form görülmektedir. İlk aşamada düz olan modüller; katlanma ile mekânsal özellikler kazanmış ve benzer nitelikte mekanlar oluşturmuşlardır. Çalışmanın başlarında manuel denemelerde görülen farklı miktarda açılıp kapanma ve farklı nitelikte mekanlar oluşturma durumu da dijital ortamda incelenmiştir (Şekil 27).

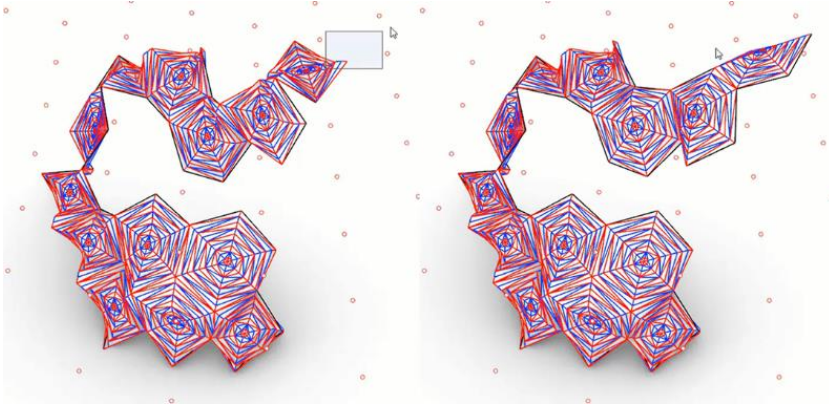
Şekil 26: Katlanma süreci içerisinde beliren formlar (Forms emerging during the folding process) (Developed by the author).



Şekil 27: Aynı formun farklı oranlarda katlanması ile değişimi (Change of the same form by folding at different rates) (Developed by the author).

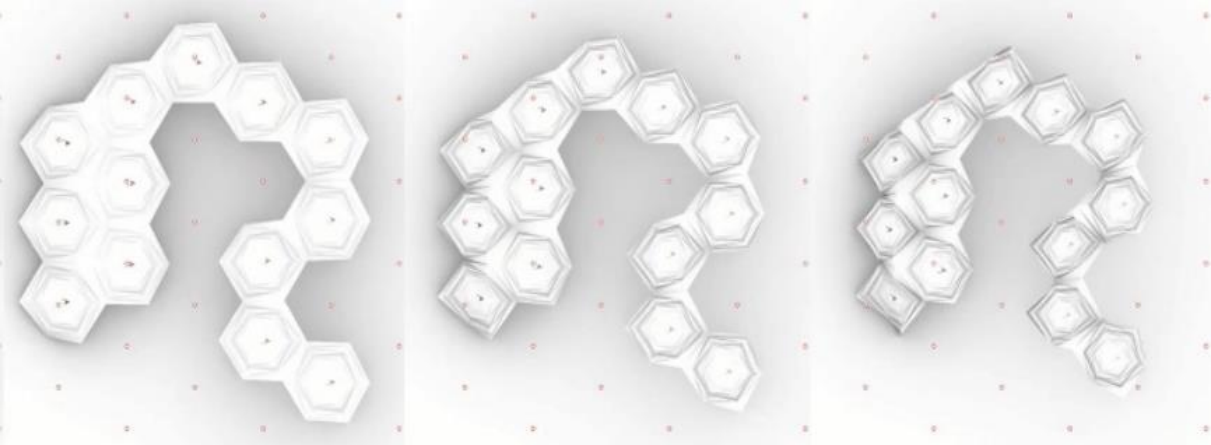


Şekil 28'de görülen model, **Şekil 26'da** düzenli katlama ile elde edilen modele yapılan müdahalelerle oluşturulmuştur. İstenilen yerlerin kullanıcı müdahalesi ile açılıp daha düz bir hale getirildiği, istenilen yerlerin ise daha çok kapatılıp küçüldüğü görülmektedir. Bu müdahalenin sonuçları **Şekil 29** ve **Şekil 30'da** karşılaştırmalı olarak görülmektedir.

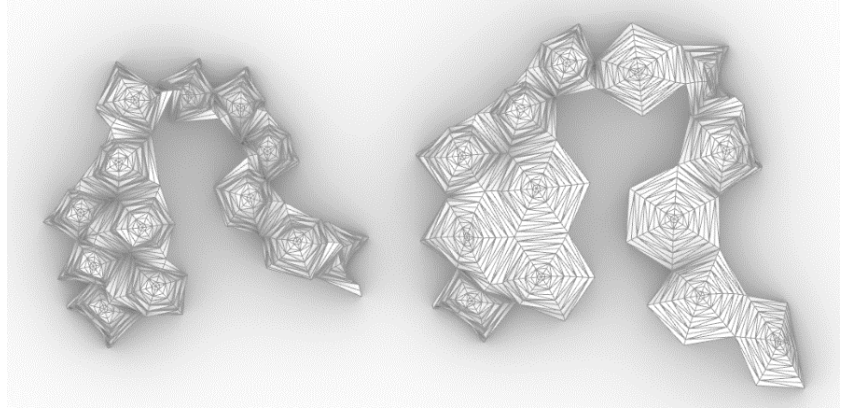


Şekil 28: Modüllere yapılan farklı müdahalelerle, oluşan mekanların değişimi (The change of spaces created by different interventions to the modules) (Developed by the author).

Şekil 29: Farklı katlamalara sahip iki modelin plan görünüşü (Plan view of two models with different folds) (Developed by the author).



Şekil 30: Farklı katlamalara sahip iki modelin perspektif görünüşü (Perspective view of two models with different folds) (Developed by the author).



Şekillerde Crane eklentisi ile aynı oranda katlanmış kabuk tasarımı ile kullanıcı müdahalesiyle kimi yerleri açılan kabuk tasarımı yan yana görülmektedir. Tasarım katlı halinde daha kapalı ve özelleşmiş mekanlar tanımlarken yapılan müdahale ile farklı bir forma sahip olmuştur. Aldığı bu yeni formda kimi birimler dokunulmadan kalmış, kimileri ise neredeyse düz bir hale gelecek şekilde açılmıştır. Bu iki örnek, aynı tasarımın mekanik özelliklerinden dolayı farklı mekanlar yaratma potansiyelini göstermektedir. İstenildiğinde farklı kullanıcılara özelleşmiş mekanlar tanımlarken, başka bir kullanım senaryosunda ise toplu kullanıma uygun hale gelebilir. Bütün bu değişip dönüşebilme durumları ise kabuğun “beliren” bir kabuk tasarımı olmasını desteklemektedir.

6. SONUÇ (CONCLUSION)

Çalışma kapsamında araştırılan origami ile hücrel özdevinin entegrasyonunun uygulanabilirliği belirme açısından olumlu bir sonuç vermiştir. Bir kabuk tasarımını origami ve hücrel özdevinim ile ele alarak oluşturmak; çalışmaya ilham olan belirme kavramını desteklemektedir. Kendi içinde hem origami hem de hücrel özdevinin farklı formlara sahip olabilmesi dolayısıyla, bütün bu alternatiflerin kendi içinde kombinasyonlar oluşturması tasarımı zenginleştirmiş ve belirme kavramını destekler şekilde üretken modeller üretmeye yardımcı olmuştur. Üretimler yapılırken süreç hem manuel hem dijital şekilde yürütülmüş olup, manuel süreçten öğrenilenler dijital olarak farklı dijital modelleme problemlerine çözüm olmuştur. Origami yüzeylerinin kıvrılarak form almasının modellemeyi zorlaştırdığı görülmüş ve buna çözüm olarak katlama desenine yapılan eklemelerle desen, rijit origami haline getirilmiştir. Bu çalışma sonucunda origami ile tasarım yapılırken hücrel özdevinimden yararlanarak çalışmanın geliştirilebileceği; yapılan

araştırmalar ve üretimlerle kanıtlanmıştır. Böyle bir origami için malzeme seçiminin de önemli olduğu manuel denemelerde görölmüş ve buna yönelik malzeme arayışlarına girilmiştir. Kinetik sistemlerde malzeme seçiminin sistemin çalışması açısından en önemli noktalardan biri olduğu sonucuna ulaşılmıştır. Yapılan literatür araştırması ile sistemleri destekleyecek detaylar incelenmiş ve tasarımın üretimine yönelik yenilikçi kararlar verilmiştir. Mevcut origami tasarımlarının genellikle ahşap veya polimer levhalardan oluşuyor olması, araştırmanın farklı yönlerine kaymasını sağlamıştır. Bu örneklerden farklılaşmak adına tasarımın katlama deseni üzerinden çerçeve sistem olarak geliştirilmesine karar verilmiştir. Sistemin farklılaşması farklı malzeme ve detay çözümlerini beraberinde getirmiştir. Kinetik ve taşıyıcı bir sistem kurgulamak için alüminyum profiller ve özel menteşelerin kullanımına karar verilmiştir. Hücresel özdevinim ile oluşturulan farklı hücre kombinasyonları farklı senaryolar için olumlu bulunmuş, çalışmanın konusu olan belirme kavramını destekler şekilde pek çok farklı alternatifler üretilmiştir. Fazla katlanan modeller daha özel alanlar oluşturarak, farklı kullanıcılara özelleşen mekanlar sağlamıştır. Bir modülün hareketi, etrafındaki modüllerle bağlantılı olduğu için, kapalı kurgulu modellerde daha kısıtlı bir hareket gözlemlenmiştir. Hareketin kısıtlı veya serbest olması da modellerde farklılığa yol atığından dolayı sistemin her türlü girdisinin belirme destekler nitelikte olduğu görölmüşür. Üretim sırasında kullanılan eklentinin simülasyona ve müdahaleye izin vermesi de modellerin daha gerçekçi şekilde davranışlarının incelenmesine olanak sağlamıştır. Bütün modüllerin aynı oranda açılıp kapanmasının dışında, kullanıcı müdahalesi ile farklı noktalarda yapılan değişikler gözlemlenmiş; farklı yerlerde farklı mekanlar oluşturma potansiyeli de simülasyonla desteklenmiştir.

Teşekkür (Acknowledgement)

Bu çalışma İstanbul Teknik Üniversitesi, Mimari Tasarımda Bilişim Lisansüstü Programı, 2020-2021 Bahar dönemi Mimari Tasarımda Üretken Sistemler dersi kapsamında gerçekleştirilmiştir. Çalışmanın başından sonuna desteğini esirgemeyen ve gelişmesine destek olan dersin yürütücüsü Prof. Dr. Gülen Çağdaş'a, araştırma görevlileri Begüm Hamzaoğlu ve Burak Delikanlı'ya; çalışmanın son hale gelmesinde yorumlarını ve desteklerini esirgemeyen Doç. Dr. Sema Alaçam'a teşekkürlerimi sunarım.

Referanslar (References)

- Calretas, S., Kong, M. S. M., Januario, P. (2014). Paper-Folding and Digital Systems: a new approach to architectural logic and structural design, IPCBEE. DOI: 10.7763/IPCBEE.2014.V66.25
- Carpo, M. (2004). Ten years of folding. In G. Lynn (Eds.) *Folding in architecture* (Rev. Ed. pp. 14-19), Wiley-Academy. https://monoskop.org/images/6/6b/AD_63_Folding_in_Architecture_1993_parts_missing.pdf
- Hemmerling, M. (2009). *ORIGAMICS: Digital Folding Strategies in Architecture*. ASCAAD 2010 / ISBN 978-1-907349-02-7]. Fez (Morocco). October, 2010.
- Hernandez, E. A. P., Hartl, D. J., Lagoudas, D. C. (2019). *Active origami modeling, design, and applications*. Springer. <https://doi.org/10.1007/978-3-319-91866-2>
- Herr, C. M. (2016). *Cellular Automata in architectural design: From Generic Systems to Specific Design Tools*. <http://dx.doi.org/10.1016/j.autcon.2016.07.005>
- Holland, J. H. (2000). *Emergence, from chaos to order*. Oxford University Press.
- Jackson, P. (2011). *Folding Techniques for Designers From Sheet To Form* (1st ed.). Laurence King.
- Knight, T. (2003) Computing with Emergence. *Environment and Planning B: Planning and Design*, 30(1), 125-155. <https://doi.org/10.1068/b12914>
- Lang, R. J. (2018). *Twists, tilings and tessellations mathematical methods for geometric origami*. CRC Press Taylor and Francis Group.
- Lee, T.-U., Yang, X., Ma, J., Chen, Y., Gattas, J. M. (2019). Elastic buckling shape control of thin-walled cylinder using pre-embedded curved-crease origami patterns. *International Journal of Mechanical Sciences* 151 (2019), 322-330. <https://doi.org/10.1016/j.ijmecsci.2018.11.005>
- Osorio, F., Paio, A., Oliveria, S. (2014). Kos – Kinetic origami surfaces. *Computer-Aided Architectural Design Research (CAADRIA)* (pp. 201-210).
- Osório, F., Paio, A., & Oliveira, S. (2017). Kinetic origami surfaces: from simulation to fabrication. In Gülen Çağdas, Mine Özkar, Leman F. Gül and Ethem Gürer (Eds.). *Future Trajectories of Computation in Design*. 17th International Conference, Computer-aided Architectural Design Futures (CAADFutures) 2017 (pp. 229-248).

- Piltan, F., Esmaili, M., Tayebi, M. A., Piltan, M., Yaghoot, M., Sulajman, M. (2016). Research on Oscillation-Free Robust Control for Active Joint Dental Automation. *International Journal of Hybrid Information Technology* 9(11), 285-302.
<http://dx.doi.org/10.14257/ijhit.2016.9.11.25>
- Schramke, S. (2016). 3D Code: Folding in the architecture of Peter Eisenman. In M. Friedman & W. Schäffner (Eds.). *On Folding* (pp. 115-134)
<https://doi.org/10.14361/9783839434048-006>
- Smuts, J. C. (1929). *Holism*. Encyclopaedia Britannica (14th ed.), 11, 640.
- Suto, K. (n.d.). Crane (by KaiSuto). *Food4Rhino*. Retrieved April, 05, 2021, from
<https://www.food4rhino.com/en/app/crane>
- Stewart, I. Some assembly needed. *Nature* 448, 419 (2007).
<https://doi.org/10.1038/448419a>
- Tachi, T. (2011, June). Rigid - Foldable thick origami. Fifth International Meeting of Origami, Science, Mathematics and Education.
<https://doi.org/10.1201/b10971-24>