

2024balıkesir| sınırda

MSTAS

Mimarlıkta Sayısal Tasarım
XVIII. Ulusal Sempozyumu

1- 2 Temmuz 2024

Tam Metin Bildiri Kitabı

sınırda

Balıkesir, 2024

XVIII. M MARLIKTA SAYISAL TASARIM ULUSAL SEMPOZYUMU

1 – 2 TEMMUZ 2024 | BALIKESİR

MSTAS 2024 | SINIRDA

Düzenleme Kurulu

Doç. Dr. Serkan PALABIYIK
Dr.  gr. Üyesi Fatma Süphan SOMALI
Ar. Gör. Dr. Elif ALKILIN
Ar. Gör. Dr. Derya DEMİRCAN
Ar. G r. A.  yk  TÜRKEN

Danışma Kurulu

Prof. Dr. M. Birgül ÇOLAKOĞLU
Prof. Dr. Mine ÖZKAR
Prof. Dr. Arzu GÖNENÇ SORGU

Editörler

Doç. Dr. Serkan PALABIYIK
Dr.  gr. Üyesi Fatma Süphan SOMALI
Ar. Gör. Dr. Elif ALKILIN
Ar. Gör. Dr. Derya DEMİRCAN
Ar. G r. A.  yk  TÜRKEN

Mizanpaj

Ar. Gör. Dr. Elif ALKILIN
Ar. Gör. Dr. Derya DEMİRCAN

Kapak

Ar. G r. A.  yk  TÜRKEN

ISBN: 978-975-6993-33-0

  Balıkesir Üniversitesi

Bu kitabın her hakkı saklıdır ve tüm yayın hakları “BAUN Rektörlüđü’ne” aittir. Bu kitabın tamamı ya da herhangi bir bölümü yayınevinin izni olmaksızın yayınlanamaz, basılamaz, mikrofilme çekilemez, dolaylı dahi olsa kullanılamaz. TEKSİR, FOTOKOPİ veya başka teknikle çoğaltılamaz, bilgisayarda, dizgi makinalarında işlenebilecek bir ortama aktarılamaz. Kitapta yayınlanan tüm yazı ve görsellerin sorumluluğu yazar/ yazarlara aittir.

BİLİM KURULU

Ahmet Emre DİNÇER, *Ankara Yıldırım Beyazıt Üniversitesi*

Arzu GÖNENÇ SORGUÇ, *Orta Doğu Teknik Üniversitesi*

Aslı AĞIRBAŞ, *Özyeğin Üniversitesi*

Ayşegül AKÇAY KAVAKOĞLU, *İstanbul Teknik Üniversitesi*

Başak UÇAR, *TED Üniversitesi*

Benay GÜRSOY TOYKOÇ, *Pennsylvania State University*

Çağda ÖZBAKİ, *Altınbaş Üniversitesi*

Derya GÜLEÇ ÖZER, *İstanbul Teknik Üniversitesi*

Elif Belkis ÖKSÜZ, *Kahramanmaraş İstiklal Üniversitesi*

Emirhan COŞKUN, *Haliç Üniversitesi*

Ersan KOÇ, *Bursa Teknik Üniversitesi*

Ethem Gürer, *İstanbul Teknik Üniversitesi*

Faruk Can ÜNAL, *Yeditepe Üniversitesi*

Gülen ÇAĞDAŞ, *İstanbul Teknik Üniversitesi*

Güzden VARİNLİOĞLU, *İzmir Ekonomi Üniversitesi*

H. Günseli DEMİRKOL, *Eskişehir Teknik Üniversitesi*

İlker ERKAN, *Süleyman Demirel Üniversitesi*

Kutay GÜLER, *Kansas State University*

Kutay KARABAĞ, *İstanbul Bilgi Üniversitesi*

Leman Figen GÜL, *İstanbul Teknik Üniversitesi*

Mehmet Ali ALTIN, *Eskişehir Teknik Üniversitesi*

Mehmet İNCEOĞLU, *Eskişehir Teknik Üniversitesi*

Meltem AKSOY, *İstanbul Teknik Üniversitesi*

Meryem Birgül ÇOLAKOĞLU, *İstanbul Teknik Üniversitesi*

Mine ÖZKAR, *İstanbul Teknik Üniversitesi*

Mustafa Emre İLAL, *İzmir Yüksek Teknoloji Üniversitesi*

Neşe ÇAKICI ALP, *Kocaeli Üniversitesi*

Orkan Zeynel GÜZELCİ, *İstanbul Teknik Üniversitesi*

Özgün BALABAN, *Columbia University*

Özlem KANDEMİR, *Eskişehir Teknik Üniversitesi*

Pınar ÇALIŞIR ADEM, *Yeditepe Üniversitesi*

Sabri GÖKMEN, *Kadir Has Üniversitesi*

Salih OFLUOĞLU, *Antalya Bilim Üniversitesi*

Sema ALAÇAM, *İstanbul Teknik Üniversitesi*

Semra ARSLAN SELÇUK, *Gazi Üniversitesi*

Serbülent VURAL, *Karadeniz Teknik Üniversitesi*

Serdar AYDIN, *Mardin Artuklu Üniversitesi*

Sevil YAZICI, *İstanbul Teknik Üniversitesi*

Sibel MACİT İLAL, *İzmir Demokrasi Üniversitesi*

Şehnaz CENANİ, *İstanbul Medipol Üniversitesi*

Şule PEKTAŞ TAŞLI, *Bilkent Üniversitesi*




Tuğrul YAZAR, *İstanbul Bilgi Üniversitesi*

Yazgı AKSOY, *İstanbul Medipol Üniversitesi*

Yüksel DEMİR, *İstanbul Teknik Üniversitesi*

Zülal Nurdan KORUR, *İstanbul Medipol Üniversitesi*

Doğadan Referans Alan Katlanabilir Beton Kalıp Sistemleri Üzerine Bir İnceleme




Görkey Gürel¹ ; Ayşegül Akçay Kavakoğlu² ; Leman Figen Gül³ 
^{1,2,3}İstanbul Teknik Üniversitesi
¹gurelg17@itu.edu.tr; ²akcaykavakoglu@itu.edu.tr; ³fgul@itu.edu.tr

Özet

Doğa, uzun bir evrimsel süreç boyunca çeşitli organizmaları bünyesinde barındırarak onların çevreye uyum sağlamasına olanak sağlamıştır. Bu organizmalar, hem işlevsellikleriyle hem de estetik değerleriyle insanları etkilemiş ve onlara ilham kaynağı olmuştur. Özellikle mimarlık ve inşaat sektörü, doğanın karmaşık yapılarını anlamaya çalışarak onlardan ilham alıp yenilikçi çözümler geliştirmeye çalışmıştır. Bu bağlamda, bitki dünyasının incelikli ve zarif örnekleri, özellikle Mavi Patates Çiçeği gibi bitkilerin simetrik yapıları, mimari tasarım ve üretim alanında kullanılabilir strüktürel çözümler için büyük bir potansiyel taşımaktadır. Mavi Patates Çiçeği'nin dinamik strüktürel yapısının incelenmesi mimarlık ve inşaat alanında katlanabilir ve adapte edilebilir beton kalıp sistemlerinin geliştirilmesinde önemli bir potansiyele sahiptir. Bu sistemlerin kullanımı, inşaat endüstrisinde üretim süreçlerini optimize ederek yapısal çözümleri daha esnek hale getirebilmektedir. Bu araştırma, geleneksel beton kalıp sistemlerinin sınırlarını sorgulayarak katlanabilir beton kalıp sistemleri için yenilikçi bir yaklaşım sunmayı amaçlamaktadır. Doğadan ilham alınarak tasarlanan katlanabilir beton kalıp sistemleri için çeşitli sayısal ve fiziksel modeller üretilerek fiziksel ve dijital süreçler arasındaki farklılıklar karşılaştırılmıştır. Bu süreçte elde edilen sonuçlar, katlanabilir beton kalıp sistemlerinin esneklik, ölçeklenebilirlik ve maliyet-etkinlik gibi avantajlarını da vurgulamaktadır. Ayrıca bu araştırma, katlanabilir beton kalıp sistemlerinin inşaat endüstrisinde gelecekte önemli bir rol oynayacağını öngörmekte ve endüstrideki mevcut zorluklara çözüm getirmeyi hedeflemektedir. Araştırmanın sonunda ise katlanabilir beton kalıp sistemleri ile üretilen beton blokların kullanım alanlarına dair örnek bir çalışma yapılmıştır.

Anahtar Kelimeler: Katlanabilir kalıp sistem, kumaş kalıp, hesaplamalı model.

A Study on Deployable Concrete Mold Systems with Reference from Nature

Görkey Gürel ¹ ; Ayşegül Akçay Kavakoğlu ² ; Leman Figen Gül ³ 
^{1,2,3}Istanbul Technical University
¹gurelg17@itu.edu.tr; ²akcaykavakoglu@itu.edu.tr; ³fgul@itu.edu.tr

Abstract

Nature has provided various organisms with the opportunity to adapt to the environment through a long evolutionary process. These organisms have influenced and inspired humans both functionally and aesthetically. Especially the field of architecture and construction has endeavored to understand the complex structures of nature and derive innovative solutions from them. In this context, the intricate and graceful examples of the plant world, particularly the symmetrical structures of plants such as the Blue Potato Bush, hold great potential for structural solutions that can be utilized in architectural design and production. The examination of the dynamic structural system of the Blue Potato Bush holds significant potential in the development of deployable and adaptable concrete mold systems in architecture and construction. The use of these systems can optimize production processes in the construction industry, making structural solutions more flexible. This research aims to present an innovative approach for deployable concrete mold systems by questioning the limits of traditional ones. Various computational and physical models have been produced for deployable concrete mold systems designed with inspiration from nature, and differences between physical and computational processes have been compared. The results obtained in this process also emphasize the advantages of deployable concrete mold systems such as flexibility, scalability, and cost-effectiveness. Additionally, this research anticipates a significant role for deployable concrete mold systems in the construction industry in the future and aims to address current challenges in the industry. Finally, an example study on the applications of concrete blocks produced with deployable concrete mold systems is presented at the end of the research.

Keywords: Deployable mold system, fabric mold, computational model.

1. Giriş

Doğa, uzun yıllar boyunca evrimleşmiş ve çevresine uyum sağlamayı başarmış organizmalara ev sahipliği yapmaktadır. Bu organizmalar, geçmişten günümüze hem işlevsellikleriyle hem de estetik değerleriyle insanları etkilemiş ve onlar için ilham kaynağı olmuştur. Özellikle mimarlık ve inşaat sektörü, doğanın karmaşık yapılarını anlamaya çalışarak onlardan ilham almış ve yenilikçi çözümler geliştirmeye çalışmıştır. Bu yapılar arasında, bitki dünyasının incelikli ve zarif örnekleri ön plana çıkmaktadır. Özellikle Mavi Patates Çiçeği, *Lycianthes rantonnetii*, (Şekil 1) gibi bitkilerin simetrik yapıları, mimari tasarım ve üretim alanında kullanılabilecek strüktürel çözümler için potansiyel barındırmaktadır.



Şekil 1. Mavi Patates Çiçeği (*Lycianthes rantonnetii*).

Bu çiçek, merkezde birleşen ve taşıyıcı özellik gösteren taç yapraklardan (petal) ve bu yaprakları birbirine bağlayan ince yüzeylerden (gusset) oluşmaktadır. Çiçek tamamen kapalı durumdayken taç yapraklar tamamen katlanır ve erkek organın merkezini sarmalarken çiçek yarı açık durumdayken taç yapraklar hafifçe erkek organın merkezi etrafında yayılır, ancak hala katlanmış durumdadır ve açılmaya eğilimlidir ve çiçeğin katlanma süreci tamamen katlanmış durumdan yarı açık duruma doğrudur (Rugui et al., 2019). Mavi Patates Çiçeklerinin genellikle beş veya altı adet taç yaprağı bulunmaktadır ve her bir yaprak arasında katlanabilir yüzeyler (gusset) yer almaktadır. Çiçek tamamen açıldığında, bu yapraklar ve yüzeyler bir beşgen veya altıgen oluşturmaktadır (Kobayashi ve Horikawa, 2008). Bu nedenle, çokgen düzlemlerin katlanma prensiplerini anlamak için patates çiçeklerinin katlanma biçimleri referans alınabilmektedir. Bu dinamik yapının incelenmesi, mimarlık ve inşaat alanında katlanabilir ve adapte edilebilir kalıp sistemlerinin geliştirilmesine olanak sağlayabilmektedir. Bu tür elemanların özellikle inşaat endüstrisi alanındaki kullanımı, üretim süreçlerini optimize etmek ve yapısal çözümleri daha esnek hale getirmek için önemli bir potansiyele sahiptir. Ayrıca Mavi Patates Çiçeği'nin strüktürel özelliklerinin incelenmesi, beton bloklar için katlanabilir kalıp sistemlerinin tasarımında daha esnek ve verimli üretim süreçlerinin yanı sıra çeşitli yapısal gereksinimlere

uygun çözümler sunabilme potansiyeline de sahiptir. Kısaca bu çalışma, geleneksel beton kalıp sistemlerinin sınırlarını sorgulayarak katlanabilir kalıp sistemleri için yenilikçi ve deneysel bir araştırma ortaya koymaktadır.

Doğadaki bitkilerin çiçek açma biçiminden ve strüktürel yapısından esinlenilerek ortaya konan birçok tasarım mevcuttur. Bu çalışmanın odağını oluşturan Mavi Patates Çiçeği'nin fiziksel yapısı referans alınarak ortaya konan tasarım örneklerinden biri olarak ise Amerika'daki Starlight Tiyatrosu'nun katlanabilir çatı strüktürü gösterilebilir. Asefi ve Foruzandeh'e (2011) göre bu örnek, geçici ve dönüşebilen yapılar için ana tasarım kriterlerini karşılamak üzere doğanın prensiplerini bir araç olarak kullanmaktadır. Tasarlanan çatı strüktürü, Mavi Patates Çiçeği'nden ilham alınarak üretilen üçgen parçalardan meydana gelmektedir. Merkezi bir çekirdek ve dört üçgen kanat içeren bu yapı, farklı ölçeklerde ve farklı koşullarda çeşitli formların oluşturulmasını da mümkün kılmaktadır (Asefi ve Foruzandeh, 2011). Aynı zamanda bu strüktür, düzenlenecek etkinliklerin sürekliliğinin hava koşullarından bağımsız olarak sağlanabilmesi için açılıp kapanabilir özellikte tasarlanmıştır (Zenter ve Yıldırım, 2020).

Yukarıda bahsedilen örneklere bakıldığında, doğadan alınan referansın yapı elemanlarının form ve işleyişine doğrudan yansıtıldığı görülebilmektedir. Ancak bu referansın, bir yapı elemanı olan beton blokları üreten katlanabilir kalıp sistemleri için bir araç olarak kullanılmasının bu alana farklı bir bakış açısı kazandırabileceği düşünülmektedir. Bu noktada katlanabilen strüktür, bir yapı elemanı olmak yerine yapı elemanını üreten kalıp rolünü üstlenmiş olacaktır. Böylece beton bloklar çeşitli ölçek ve geometrilerde üretilebilecektir ve katlanabilir kalıp sistemleri, dolaylı olarak yapının formunu belirleyen bir unsur haline gelecektir. Bahsedilen katlanabilir kalıp sistemlerinin üretilmesinde, kalıp yüzeyini oluşturmak için kumaş malzemesinin kullanılması üzerine çalışmalar da mevcuttur. Akçay Kavakoğlu'na (2020) göre, kumaş kalıp kullanarak form oluşturma yöntemi; malzeme tasarrufu, hesaplama, inşaat ve sürdürülebilirlik alanlarında gelişen teknolojilerle birlikte gelecekte daha da ön plana çıkacaktır. Bu nedenle, kumaş ve betonun tektonik potansiyellerini dijital alanlarda keşfetmek için üretilen formlarla ilgili kalıpların ve malzemelerin hesaplanabilir davranışları daha ayrıntılı incelenmelidir (Akçay Kavakoğlu, 2020).

2. Yöntem

Bu çalışma özelinde, Mavi Patates Çiçeği (*Lycianthes rantonnetii*) bitkisinin yapısal özelliklerinden yola çıkılarak beton bloklar için çeşitli prototip kalıp sistemleri üretilmiş ve sonuçları tartışılmıştır. Çalışma, Akçay Kavakoğlu'nun katlanabilir tekstil kalıp ile form üretimi metodolojisi referans alınarak kurgulanmıştır (Akçay

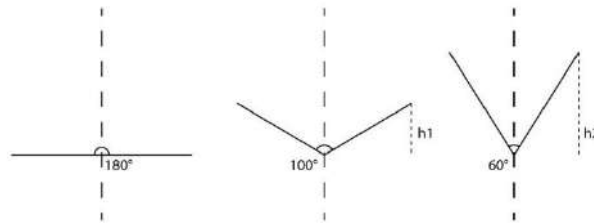
Kavakoğlu, 2020). Çalışma altı temel süreçten meydana gelmektedir: (1) Katlanabilir örüntü araştırması ve seçimi, (2) seçilen örüntünün katlama ve kalıp özelinde formal davranışlarını gözlemleyebilmek için hesaplamalı modellerinin oluşturulması, (3) katlanabilir kalıbın prototiplerinin üretimi ve beton dökümü, (4) katlanabilir kalıp aracılığıyla beton blokların üretilmesi (5) referans, fiziksel ve hesaplamalı modellerin karşılaştırılarak süreç değerlendirmesinin yapılması ve (6) dijital ortamda üretilen beton bloklar kullanılarak örnek bir çalışma, tasarım yapılması.

2.1. Kalıp Modeli Seçimindeki Kriterler

Mavi Patates Çiçeği modelinin referans olarak seçilmesinde avantaj ve dezavantajlarıyla birlikte modelin işlevselliğine ve uygulanabilirliğine yönelik birtakım parametreler göz önünde bulundurulmuştur.

Katlanabilirlik

Mavi Patates Çiçeği modeli, benzer uzunluktaki kenarların ortak merkezde birleşmesi nedeniyle simetrik bir yapı ortaya koymaktadır. Bu durum, simetrik bir sonuç elde etmek için ideal ve basit bir sistemi tariflemektedir. Öte yandan, asimetrik bir çerçeve, kenarların uzunluklarında değişiklik gerektireceğinden kalıbın ağırlık merkezinin kaymasına neden olacaktır. Kalıp tek bir sabit noktadan asıldığında, belirli bir yöne doğru eğilme gösterecektir ve asimetrik sonuçlar elde etmek için sistem üzerinde daha fazla kontrol gerektirecektir. Bir diğer parametre ise taşıyıcı elemanların katlanma açısıdır. Açı azaldıkça, kalıbın derinliği artmaktadır.



Şekil 2. Katlanma açısı ile kalıp derinliği arasındaki ilişki.

Değişkenler arasındaki ters orantıdan dolayı $100^\circ > 60^\circ$ ise $h_1 < h_2$ 'dir (Şekil 2).

Üretilebilirlik

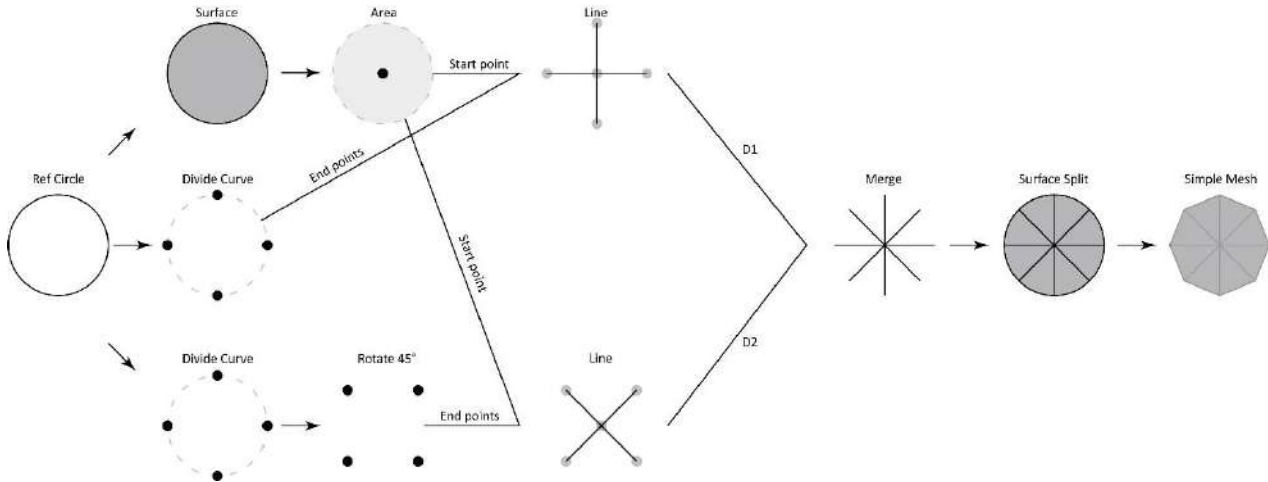
Kalıbın üretilebilmesi açısından, belirli sayıdaki taşıyıcı elemanın (taç yaprak) tek bir noktada birleşmesi ve belirli açılarda hareket edebilmesi gerekmektedir. Simetrik bir strüktür için taşıyıcı eleman sayısı arttıkça aralarındaki açı değeri azalacaktır. Ayrıca belirli uzunluk ve sayıdaki taşıyıcı elemanın bir araya gelmesiyle oluşan strüktür özellikle üretim aşamasında manevra kabiliyeti sağlama potansiyeline sahiptir.

2.2. Hesaplamalı Modellerin Üretilmesi

Mavi Patates Çiçeği referans alınarak Rhino ve Grasshopper aracılığıyla üretilen dijital modeller ile kalıp sisteminin algoritması ve modeli oluşturulmuştur. Bu modeller dairesel ve karesel olmak üzere iki farklı şekildedir.

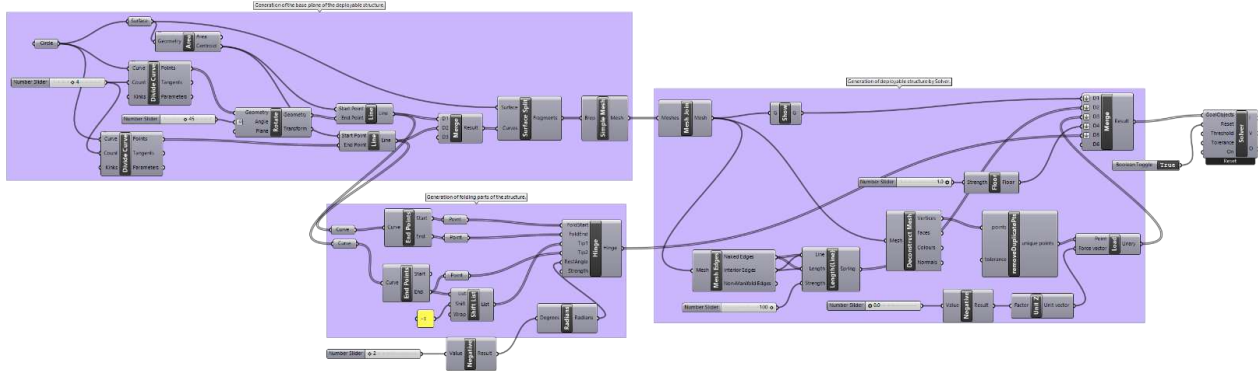
2.2.1. Daire Tabanlı Hesaplamalı Model

Katlanabilir kalıp modelinin üretimi için ilk olarak Grasshopper aracılığıyla daire tabanlı sistemin algoritması ve bu algoritma kullanılarak da hesaplamalı modeli oluşturulmuştur. Bu algoritma kalıbın katlanabilir parçalarını üretmek için bir daireyi kullanarak dayanak noktalarını, katlanma çizgilerini ve katlanma açısını tanımlamaktadır.



Şekil 3. Dairesel zemini ve katlanma çizgilerini tanımlayan algoritmanın şematik gösterimi.

Çember yayı üzerinde eşit aralıklarla oluşturulan noktalar çemberin merkezi ile birleştirilerek katlanma doğrultuları oluşturulmuştur. Bu durumda 8 adet taç yaprak (petal) ve bunları birleştiren 8 adet yüzey (gusset) oluşmaktadır (Şekil 3).



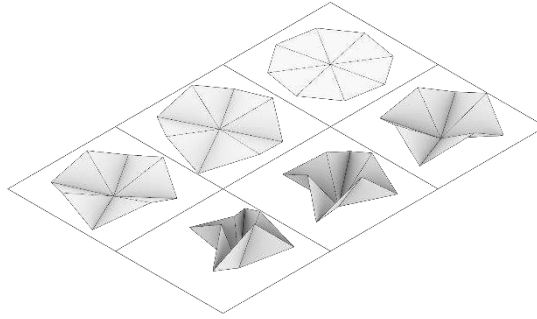
Şekil 4. Daire tabanlı modeli tanımlayan bütünleşik algoritma.

Algoritmayı oluşturan bileşenlerden sol üst kısım sırasıyla dairesel deseni ve desenin katlanma doğrultularını tanımlamaktadır. Sayısal modelleme ortamı Rhino aracılığıyla oluşturulan çember, Grasshopper yazılımı kullanılarak *Circle* bileşenine atanmıştır. *Line* bileşenleri sol alt kısımda gösterilen *Curve* bileşenlerine atanarak algoritma devam ettirilmiştir. *Radians* değerini tanımlayan değer parçaların katlanma açısını ifade etmektedir. *Simple Mesh* bileşeni sağ kısımda gösterilen *Mesh Join* bileşenine bağlanarak algoritma devam ettirilmiş ve sürecin sonunda ise katlanabilir kalıp sisteminin yüzeyini, katlanma doğrultularını, katlanma açısını, katlanan elemanların sayısını ve katlanma hareketini belirleyen değerler *Merge* bileşenine bağlanarak *Solver* bileşeni ile sistemin algoritmik modeli oluşturulmuştur. *Hinge* bileşenine ait *RestAngle* girdisi ise katlanma açısını tanımlamaktadır (Şekil 4).



Şekil 5. Değişen katlanma açısına göre daire tabanlı modelin görünümü.

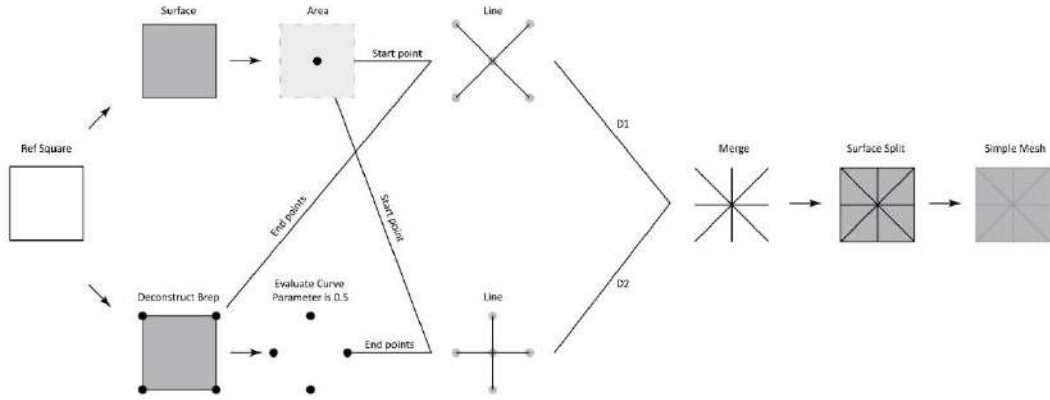
Değişen katlanma açısına göre kalıp modelinin geometrisi de değişecektir. *Boolean Toggle* bileşeni, *Solver* bileşeninin çalışmasını *Dur / Devam et* prensibiyle kontrol eden bir sigorta niteliğindedir. Bu değer *True* ise katlanma açısı değişse bile modelde herhangi bir değişiklik olmayacaktır. Modelin değişen katlanma açısına göre davranışını görmek için bu değer *False* olmalıdır (**Şekil 5**).



Şekil 6. Modelin katlanma sürecini gösteren diyagram.

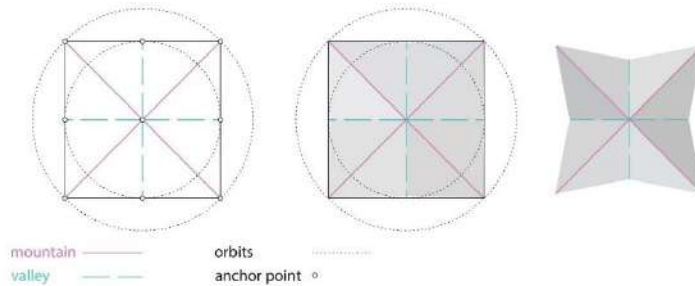
2.2.2. Kare Tabanlı Hesaplamalı Model

Daire tabanlı modele ek olarak, kare tabanlı modelin algoritması ve bu algoritma kullanılarak da hesaplamalı modeli Grasshopper aracılığıyla Kangaroo eklentisi kullanılarak oluşturulmuştur. Bu algoritma kalıbın katlanabilir parçalarını üretmek için bir kare kullanarak katlanma noktalarını ve çizgilerini tanımlamaktadır.



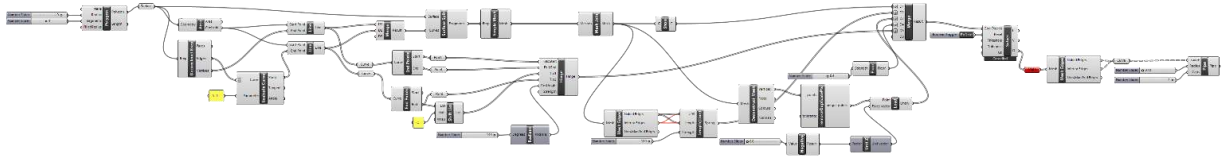
Şekil 7. Karesel zemini ve katlanma çizgilerini tanımlayan algoritmanın şematik gösterimi.

Oluşturulan kare yüzeyin köşe ve kenar orta noktaları belirlenerek ve bu noktalar karenin merkezi ile birleştirilerek modelin katlanma çizgileri oluşturulmuştur (Şekil 7).



Şekil 8. Kare tabanlı modelin bileşenleri.

Mor çizgiler tümsek (mountain), mavi çizgiler çukur (valley) katlanma çizgilerini temsil etmektedir. Karenin köşe ve kenar orta noktaları ise dayanak noktalarını (anchor point) göstermektedir (Şekil 8).



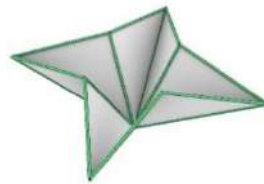
Şekil 9. Kare tabanlı hesaplamalı modeli tanımlayan bütünlük algoritma.

Modelin karesel zeminini oluşturmak için *Polygon* bileşeninin *Segments* girdisi 4 (kenar sayısı) olarak tanımlanmıştır. Daha sonra ise belirtilen adımlar izlenerek karenin merkezi ile köşelerini ve kenar orta noktalarını birleştiren katlanma çizgileri tanımlanmıştır. *Line* bileşenleri *Curve* bileşenlerine bağlanmıştır. Daha sonra ise belirtilen adımlar izlenerek modelin katlanabilir parçaları çizgisel olarak tanımlanmıştır. *Hinge* bileşenine ait *RestAngle* girdisi modelin katlanma açısını ifade etmektedir. *Simple Mesh* bileşeni ise *Mesh Join* bileşenine bağlanmıştır. Daha sonra ise yukarıda belirtilen adımlar izlenerek kare tabanlı katlanabilir kalıp model oluşturulmuştur (Şekil 9).



Şekil 10. Değişen katlanma açısına göre kare tabanlı modelin görünümü.

Katlanma açısına göre, kare tabanlı modelin geometrisi ve dolayısıyla derinliği de değişmektedir. *RestAngle* değeri arttıkça modelin katlanma derecesi de artacaktır (Şekil 10).



Şekil 11. Katlanmış haldeki kare tabanlı dijital model.

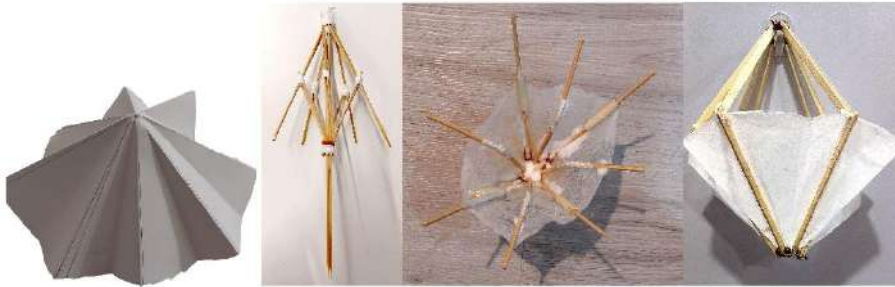
Yeşil renkle gösterilen parçalar kalıbın katlanabilir dinamik elemanlarını (taç yaprak), gri renkle gösterilen alanlar ise bu elemanları birleştiren kumaş yüzeylerini (gusset) temsil etmektedir (**Şekil 11**).

2.3. Fiziksel Modellerin Üretilmesi

Dijital (hesaplamalı) modellere ek olarak fiziksel modeller de üretilmiştir. Ayrıca süreç boyunca deneme amaçlı çeşitli fiziksel modeller üretilerek avantajları ve dezavantajları tartışılmıştır.

2.3.1. Daire Tabanlı Fiziksel Modeller

Daire tabanlı kalıp model için ilk olarak kalın kağıt kullanılarak bir fiziksel model üretilmiştir. Origami tekniği kullanılarak üretilen bu model daha sonra üretilecek modeller için referans olarak kullanılmıştır.



Şekil 12. (Soldan sağa) Daire tabanlı fiziksel model 1, 2, 3, 4.

Origami tekniği kullanılarak daire tabanlı fiziksel model 1 üretilmiştir. Gür ve diğerlerine (2020) göre origami, nesilden nesle aktarılan geleneksel bir Japon kağıt katlama tekniğidir. Origami temelli tasarımın amacı, iki boyutlu düzlemlerden üç boyutlu geometriler oluşturmaktır. Aynı zamanda origami, mimari tasarımlar için önemli bir yere sahiptir. Bu katlama stratejisi, karmaşık geometriler kullanılarak özellikle mimaride mekansal ve yapısal fikirlerin oluşturulmasında bir yöntem olarak kullanılmıştır (Gür et al., 2020). Daire tabanlı fiziksel model 2 için ilk olarak ahşap çubuklar kullanılarak bir şemsiye sistemi üretilmiştir. İlk olarak ince çubuklardan kısa olanlar uzun olanların orta noktalarından bantla birleştirilmiştir. Daha sonra birleştirilen ince çubuklar merkezdeki görece daha kalın çubuğa ucundan sabit ve ortasından hareketli olacak şekilde bant yardımıyla birleştirilerek çerçeve oluşturulmuştur. Katlanabilir parçaların birleştiği noktaya yukarı yönlü bir kuvvet uygulanırsa hareketli ince çubuklar yanlara doğru açılacaktır. Daire tabanlı fiziksel model 3 için ise ahşap

çubuklar, bakır tel, bant ve ıslak mendil kullanılmıştır. Sistemin iskeletini oluşturan ahşap çubuklar taç yaprakları (petal) ve ıslak mendil ise taç yapraklar arasındaki yüzeyleri (gusset) temsil etmektedir. Daire tabanlı fiziksel model 4 için ise kalın ahşap çubuklar, bakır teller, boncuklar, kablo kelepçeleri ve kaplama malzemesi olarak da kumaş kullanılarak üretilmiştir (**Şekil 12**).

Daire Tabanlı Fiziksel Model 2:

Avantajlar

- Tüm sistemin tek bir noktadan kontrol edilebilmesi
- İnce ve hafif malzeme kullanımı

Dezavantajlar

- Dayanıksız ve kırılğan yapı
- Stabil olmayan bağlantı noktaları
- Kendi başına ayakta durabilme özelliğinin olmaması

Daire Tabanlı Fiziksel Model 3:

Avantajlar

- Parçaların kolay birleştirilebilmesi
- Tek merkezli hareket

Dezavantajlar

- Zamanla yüzeylerin gerginliğini kaybetmesi

Daire Tabanlı Fiziksel Model 4:

Avantajlar

- Tüm sistemin tek bir noktadan kontrol edilebilmesi
- Asılabilir strüktürel tasarım
- Ayarlanabilir bağlantı elemanı (kablo kelepçesi)
- Dayanıklı tavan ve taban nokta bağlantısı (bakır tel, boncuk)

Dezavantajlar

- Dengesiz (oynak) ahşap iskelet



Şekil 13. Daire tabanlı fiziksel model 4 için üretim aşamaları.

Daire tabanlı fiziksel model 4 için üretim aşamasında kalem, bıçak, cetvel, pense ve tornavida gibi çeşitli araçlar kullanılmıştır (Şekil 13).

2.3.2. Kare Tabanlı Fiziksel Modeller

Kare tabanlı fiziksel model için iki farklı fiziksel model üretilmiştir.



Şekil 14. (Soldan sağa) Kare tabanlı fiziksel model 1, 2.

Kare tabanlı fiziksel model 1, dört ayak üzerinde durmaktadır. Modelin katlanabilir elemanları birbirine tel ve bant yardımıyla bağlanmış hareketli sekiz çift ahşap çubuktan oluşmaktadır. Altta iki çift çubuk, katlanma esnasında sisteme esneklik sağlaması için elastik saç lastiği ile bağlanmıştır. Saç lastiği enine gerildiğinde ahşap çubuklar katlanmakta ve sistem açılmaktadır. Kare tabanlı fiziksel model 2 ise ahşap çubuklar, ip, kumaş, bakır ve demir teller kullanılarak üretilmiştir. Yapının tüm katlanabilir parçaları kare yüzeyin merkezinde buluşmaktadır. Sekiz ayrı çubuktan oluşan simetrik bir yapıdır. Döküm sırasında çimentonun kalıbın ahşap kısımlarına temas etmemesi için kumaş yüzey ahşap çubukların arkasına yerleştirilmiştir. Bu

durum, kumaş yüzeyin kullanım süresini uzatacak ve katlanabilir kalıp modeli döküm için birden fazla kez kullanılabilir (Şekil 14).

Kare Tabanlı Fiziksel Model 1:

Avantajlar

- Esnek strüktürel tasarım
- Kendi başına ayakta durabilme kabiliyeti

Dezavantajlar

- Katlanabilme kabiliyeti düşük iskelet yapısı
- Kumaş kaplama için uygun olmayan yüzeyler

Kare Tabanlı Fiziksel Model 2:

Avantajlar

- Birbirinden bağımsız olarak ayarlanabilir ahşap katlanabilir parçalar
- Sistemin kolay kontrol edilebilmesi
- Simetrik üretim için uygunluk
- Sağlam ve dayanıklı bağlantı detayları
- Asılabilirlik

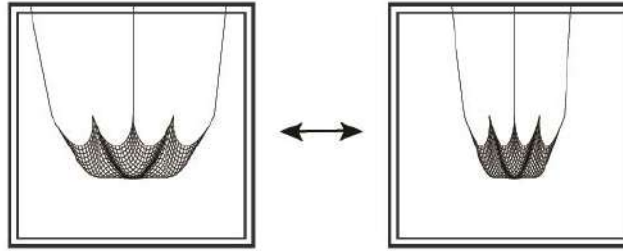
Dezavantajlar

- Dengesiz (oynak) ahşap iskelet



Şekil 15. (Sol) Kare tabanlı fiziksel model 2 birleşim detayı. (Sağ) Katlanabilir kalıp modelin ahşap çerçeveye asılması.

Soldaki görselde demir teller, ahşap çubukları merkez noktasındaki bakır tel ile birleştirmektedir. Sağdakinde ise beton dökümü yapılmak üzere kare tabanlı katlanabilir kalıp model ahşap çerçeveye asılmıştır (Şekil 15). Kalıp, iplerin çerçeve boyunca hareket etmesiyle açılıp kapanabilmektedir (Şekil 16).



Şekil 16. Katlanabilir kalıp modelin ahşap çerçeve üzerindeki hareketi.

Model ve çerçeve arasındaki ilişki şu şekilde tanımlanmıştır:

- **Ahşap Çerçeve:** Model ahşap çerçeveye monte edilmiştir. Bu çerçeve, modelin asılabilmesi ve hareket ettirilebilmesi için kullanılan yapıyı tariflemektedir.
- **Eksen Boyunca Hareket:** Tasarım, modelin belli bir eksen boyunca açılıp kapanma yeteneğini dikkate almaktadır. Bu da modelin istenilen pozisyonda sergilenmesi için olanak sağlamaktadır.

- **Kontrol Mekanizması:** Kalıbın hareket kontrolü ipler aracılığıyla sağlanmaktadır. Kullanıcı, kalıbın istenilen yönde hareketini bu ipler aracılığıyla kontrol edebilmektedir.

2.4. Katlanabilir Kalıp Aracılığıyla Beton Blokların Üretilmesi



Şekil 17. (Sol) Kare tabanlı katlanabilir kalıba beton dökümü. (Sağ) Üretilen beton blok.

Katlanabilir kalıbın asılabilir olması, döküm sürecini kolaylaştırmıştır. Ancak bu noktada, katlanmanın kontrolünü sağlayan kuvvetler yerçekimi ve dolayısıyla betonun ağırlığıdır. Ortaya çıkacak sonuç, kumaşın esneme miktarına bağlıdır. Katlanabilir çubuklar arasındaki kumaş yüzeyler, dökülen karışımın ağırlığından dolayı sarkma eğilimindedir (Şekil 17). Karışımında beyaz beton tozu ve su kullanılmıştır. Aşırı su kullanımı, betonun katılaşmasının uzun sürmesine neden olacaktır ve sonuç olarak dayanıklılık yönünden zayıf bir ürün elde edilecektir. Doğru miktarda su kullanımı, betonun dayanıklılığı açısından büyük bir öneme sahiptir. Kuruyan betonun kalıptan çıkarılmasını kolaylaştırmak için kalıbın iç yüzeyine ince şeffaf poşet yerleştirilmiştir.



Şekil 18. (Sol) Daire tabanlı katlanabilir kalıba beton dökümü. (Orta) Üretilen beton blok. (Sağ) Beton blok taban yüzeyi.

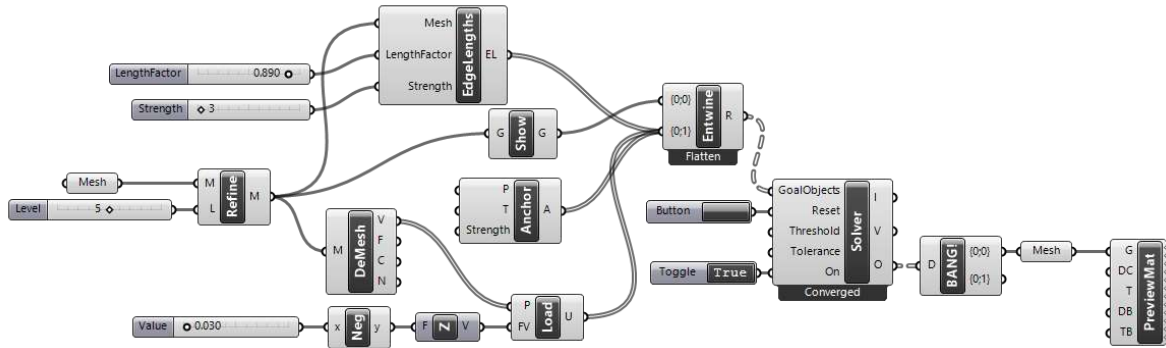
Daire tabanlı katlanabilir kalıp modeli bir kutunun içine yerleştirilmiş ve bir gün boyunca bekletilmiştir. Bu yöntem, modeli sabit bir noktaya asmaktan ziyade istenilen şekilde sabitlemek için uygulanmıştır. Kumaşın katlanmasından kaynaklanan çizgiler beton bloğun yüzeyinde görülmektedir. Bu durum, kumaş yüzeyin iyi gerilememesinden kaynaklanmaktadır. Beyaz beton ve suya ek olarak kullanılan alçıdan dolayı beton bloğun rengi **Şekil 17**'de gösterilenden farklı olarak beyazdan griye kaymıştır. Önceki örneğe göre daha az miktarda su kullanımı nedeniyle sağlamlığı çok daha iyidir ve ufulanma görülmemektedir. Taban yüzeyinde oluşan dalga desenleri ise karışımı oluşturan maddelerin homojen dağılmadığını göstermektedir (**Şekil 18**).



Şekil 19. (Sol) Fotogrametri yöntemiyle üretilen üç boyutlu beton blok modeli. (Sağ) Modelin Rhino ortamındaki yüzey dokusu, mesh wire.

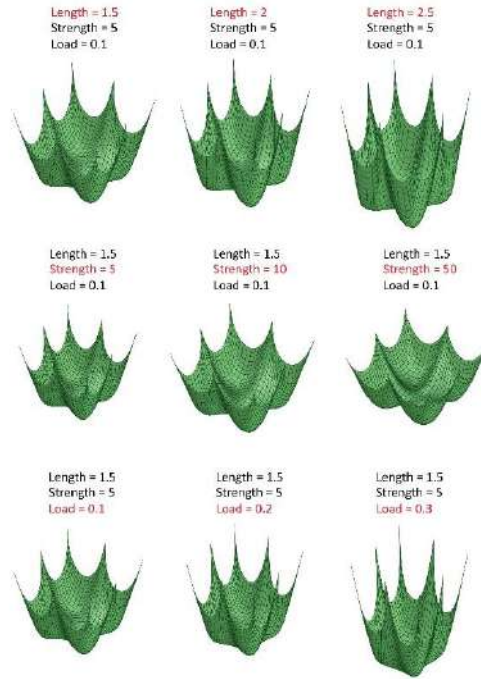
2.5. Kumaş Yüzeyin Performans Analizi

Üretilen fiziksel modeller ve bu modellerin Kangaroo eklentisi kullanılarak hesaplamalı tasarım yoluyla oluşturulan dijital karşılıklarına yukarıda değinilmiştir. Bu bölümde ise kumaş yüzeye ait performans değerlendirmesi yapılacaktır. Performans değerlendirmesi, katlanabilir beton kalıp sistemlerinin pratik olarak uygulanabilirliğini belirlemede kritik bir rol oynamaktadır.



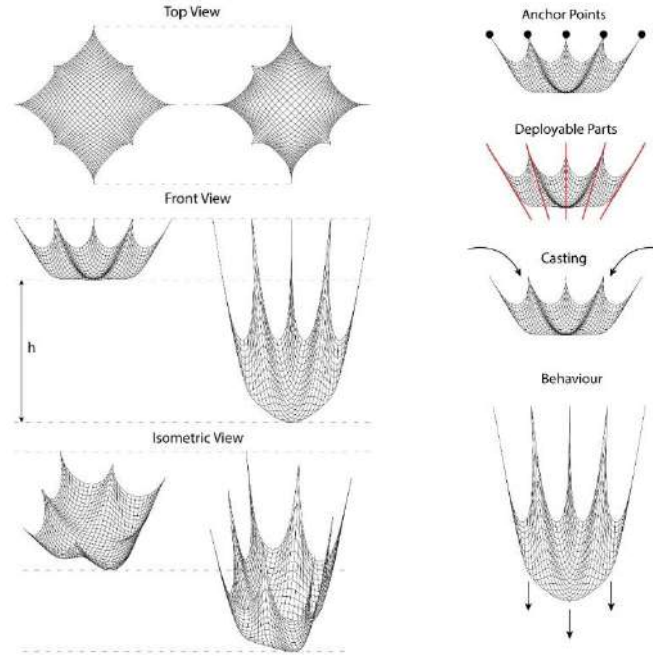
Şekil 20. Döküm esnasında kumaş yüzeyin davranışını tanımlayan Grasshopper algoritması.

Kalıp sistemlerinin davranışlarını dijital ortamda değerlendirmek için görsel programlama aracı Grasshopper yazılımı ile simülasyonun algoritması oluşturulmuştur. Algoritmanın başında yer alan *Mesh* bileşeni Şekil 9'daki *Surface* bileşeni ile bağlıdır. *Load* bileşenine ait *FV* girdisi kumaş yüzeye etki eden yük miktarını, *EdgeLengths* bileşenine ait *Strength* girdisi ise kumaş yüzeyin mukavemetini göstermektedir (Şekil 20).



Şekil 21. Kumaş yüzeyin değişen parametrelere göre davranışı.

Strength değeri kumaşın türüne bağlı olduğundan kullanılan kumaşa ait doğru değeri bulmak zordur. Ancak bu değerdeki değişimin kumaşın davranışına olan etkisi gözlemlenebilmektedir (Şekil 21).

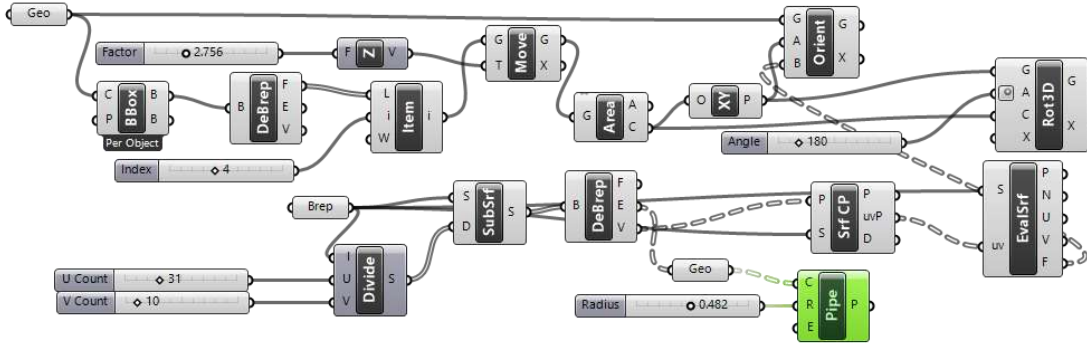


Şekil 22. Kumaş yüzeyin yük altındaki davranışı.

Dökülen karışımın ağırlığı nedeniyle kumaş yüzeyinde sarkma meydana gelmektedir. Eğer kumaşın dayanıklılığı yüksekse sarkma seviyesi düşüktür. Ayrıca h değeri kumaşın türüne ve dökülen beton miktarına bağlıdır (Şekil 22).

3. Vaka Çalışması

Bu aşamada, üretilen beton blokların mimarlık ve inşaat sektöründeki potansiyel kullanımına dair bir çalışma yapılmıştır. Beton blokların yapısal bileşen olarak kullanımına dair yapılan bu çalışma, gelecekteki uygulamalar için bir motivasyon niteliği de taşımaktadır.



Şekil 23. Vaka çalışması için oluşturulan Grasshopper algoritması.

Grasshopper aracılığıyla oluşturulan algoritma örnek strüktür çalışmasını tanımlamaktadır. Daha önce oluşturulan sayısal kalıp modeli *Geo* bileşenine atanmış ve sıradaki adımlar izlenerek strüktür oluşturulmuştur (Şekil 23).



Şekil 24. Beton blokların yapısal bileşen olarak kullanımı: (Üst) Plan görünüşü. (Alt) Perspektif görünüşü.

Üretilen sayısal beton bloklar Grasshopper algoritması ile oluşturulan küresel çerçeve strüktüre entegre edilmiştir. Yukarıdaki şekilde soldan sağa doğru çerçevenin boyutu sabit tutularak beton blokların sayısı artırılmıştır. Çerçeveye entegre edilen beton bloklar hem gölge elemanı hem de destekleyici yapı elemanı olarak kullanılmıştır. Bu çalışma, hafif çerçeve strüktürler için uygulanabilir bir örnek niteliğindedir (**Şekil 24**).

4. Bulgular ve Yorum



Şekil 25. (Sol) Referans model. (Orta) Fiziksel model. (Sağ) Hesaplamalı model.

Şekil 25'te gösterilen referans model (Mavi Patates Çiçeği), üretilen fiziksel ve hesaplamalı model ile görsel açıdan benzerlik taşısa da davranışsal olarak farklılıklar içermektedir. Çiçek açma süreci boyunca taç yapraklar eş zamanlı ve eşit miktarda katlanma eğilimindedir. Ancak fiziksel model için bu durum söz konusu değildir. Katlanma kabiliyetine sahip ahşap çubuklar belli bir miktar da olsa birbirinden bağımsız hareket edebilmektedir. Sistemin stabil olmayan bu davranışı onu referans modelinden farklı kılmaktadır. Hesaplamalı modelde ise her iki durumdan farklı olarak çevresel etkenlerden bağımsız ve tam simetrik bir katlanma süreci söz konusudur. Katlanabilir elemanlar girilen açı değerine bağlı olarak eşit miktarda katlanmaktadır. Bu yüzden Grasshopper aracılığıyla oluşturan algoritmanın daha fazla veriye ihtiyacı olduğu açıktır.



Şekil 26. (Sol) Fiziksel model. (Sağ) Hesaplamalı model.

Kare tabanlı fiziksel model için tam simetrik bir katlanma sürecinden bahsedilememektedir. Ahşap çubuklar kısmen de olsa birbirlerinden bağımsız hareket edebilmektedir. Ancak hesaplamalı model için bu durum söz konusu değildir. Bir çubuğun hareketi diğerlerini de etkileyecektir. Ayrıca fiziksel modelde ahşap çubuklar merkezdeki dairesel bir bağlantı elemanına tutunmaktadır. Ancak hesaplamalı modelde bu parçalar ortak bir noktada birleşmiştir. Bu parçaların hareketine izin veren bağlantı elemanı algoritmada tanımlanmamıştır. Yine fiziksel modelde kumaş yüzeyde esnemeler mevcutken diğer modelde bu yüzeyler pürüzsüz ve gergin bir şekilde konumlanmıştır. Hesaplamalı modeli oluşturan algoritmanın yeterli veriye sahip olmadığı anlaşılmaktadır (Şekil 26).

5. Sonuç

Bu araştırma, katlanabilir beton kalıp sistemlerinin yenilikçi tasarımı, üretimi ve potansiyel uygulamaları üzerine deneysel bir çalışma ortaya koymaktadır. Bu sistemler, geleneksel kalıp sistemlerine kıyasla daha esnek, ölçeklenebilir ve maliyet-etkin bir seçenek sunabilmektedir. Bunu yaparken, fiziksel ve dijital modellerden yararlanılmış, çıktılar arasındaki benzerlikler ve farklılıklar tartışılmıştır. Bu çalışma, katlanabilir beton kalıp sistemlerinin potansiyelini vurgulamakla birlikte, endüstriyel uygulamalarda karşılaşılan mevcut zorlukların ve çözüm yollarının da dikkate alınması gerektiğini belirtmektedir. Sonuç olarak, katlanabilir beton kalıp sistemlerinin inşaat endüstrisindeki rolünün giderek artacağı ve gelecekteki inşaat projelerinde önemli bir yere sahip olacağı öngörülmektedir.

KAYNAKLAR

- Asefi, M., Foruzandeh, A. (2011). Nature and Kinetic Architecture: The Development of a New Type of Transformable Structure for Temporary Applications. *Journal of Civil Engineering and Architecture*. 5(6), 513-526.
- Zenter, Ö., Yildirim, M. T. (2020). Proposal of Bio-Inspired Kinetic Mechanisms Utilization for Providing Functional Flexibility In Architectural Design. *Gazi University Journal of Science*. 8, 643–656.
- Rugui, W., Jiaying, S. & Dai, J. (2019). Design Analysis and Type Synthesis of a Petal-inspired Space Deployable-Foldable Mechanism. *Mechanism and Machine Theory*. 141. 151–170.
- Akçay Kavakoğlu, A. (2020). Beyond Material - Digital Tectonics of Fabric and Concrete. Werner, L. and Koering, D. (Eds.), *Anthropologic: Architecture and Fabrication in the cognitive age - Proceedings of the 38th eCAADe Conference Volume 1*, TU Berlin, Berlin, G (pp.89-96). Berlin, Germany.
- Kobayashi, H., Horikawa, K. (2008) "Deployable structures in plants," *Advances in Science and Technology*, Vol. 58, pp. 31-40.
- Gür, H., İnce Güney, Y. & Gür Karabulut, B.Y. (2020). "Reflections of Origami to Architecture". *International Social Mentality and Researcher Thinkers Journal*. 6(37), 1879-1887.