

Fraktal Analize Dayalı Bir Yöntem; ‘Doğanın Unutkan Bahçıvanları’ Sincaplar İçin Barınak Tasarımı

Cansu Erdoğan^{1*} ve Arzu Özen Yavuz¹⁺

¹Mimarlık Anabilim Dalı/Fen Bilimleri Enstitüsü, Gazi Üniversitesi, Ankara, Türkiye

⁺Sorumlu Yazar: arzuozen@gazi.edu.tr

^{*}Sunucu: cansu.erdogan.51@gmail.com

Sunum/Bildiri Türü: Sözlü/Tam metin

Özet – Tarih boyunca, mimarlık ve geometri ilişkisinde sayılar, oranlar ve biçimsel etkileşimlerle ilgili araştırmalar yoğun olarak yapılmıştır. Gerek klasik mimari de, gerekse modern mimaride, inşa edilecek yapıların oranları için arayışlar devam etmiştir. Aslında ulaşılmak istenen oran ve orantıdır. Bu arayış sürecince karşılaşılan fraktal geometride, bir cisim oluşturan parçalar ya da bileşenler cismin tamamına benzemektedir ve düzensiz ayrıntılar, desenler daha da küçülen ölçeklerde kendini tekrarlamaktadır. Doğadaki oluşumlara bakılarak; kar taneleri, ağaçlar, geniş alanlara yayılı nehirler, sinir ağları, akciğerlerimizdeki bronz ve bronzçuklar gibi birçok fraktal yapı sergileyen örnek verilebilir. Sincapların nesli, dünya çapında tehlikede olmasa da Türkiye’de kürkleri için avlanmalarından dolayı bu canlılara daha dikkatli yaklaşılmalıdır. Bu çalışma kapsamında, insanın çok yakınında yaşayan canlılar olan sincapların özellikle insana yaklaştığı noktalarda bir önlem ve koruma alanının gerekliliği savunulmaktadır; canlıyı bir yerden başka bir yere taşımadan doğal ortamında kontrollü bir barınma alanı önerisi amaçlanmaktadır. Bu hedefler doğrultusunda; barınak tasarımı sürecinde, öncelikle kavramsal bir analiz yürütülerek kullanıcı canlıının ihtiyaçları için anahtar kavramlar belirlenmiştir. Bu anahtar kavramları karşılayabilecek canlı için de aynı inceleme gerçekleştirilerek kavramsal bir yol haritası çizilmiştir. Süreci tanımlamada doğadaki karmaşıklığın geometrisini tanımlamak için yetkin olan fraktal analiz yöntemi kullanılmasına karar verilmiştir. Böylelikle doğada var olan bir fraktal düzen farklı bir canlı için yeni bir yaşam alanı tasarımı geliştirilmesine imkan sağlamıştır.

Keywords – fraktal tasarım, fraktal kurgu, barınak, sincap, kelebek kanatları

I. GİRİŞ

Sincap popülasyonlarının da bir denge içinde kalması ve korunmasının, biyolojik zenginlik, zoocoğrafya ve evrimsel bakımdan önemi vardır (Alkan,1965).

Sincapların nesli, dünya çapında tehlikede olmasa da Türkiye’de kürkleri için avlanmalarından dolayı nesilleri tehlikededir. Geçmişte baş gösteren kürk giyme modası, sincap postlarının da kürk olarak değerlendirilmesine yol açmıştır. Bu sebeple avlanan sincaplar ekosistemdeki av ve avcı ilişkisinin bozulmasına sebep olmuştur. Bu durum bu canlılara daha dikkatli yaklaşılması konusunda erken bir uyarı olarak algılanmalıdır.

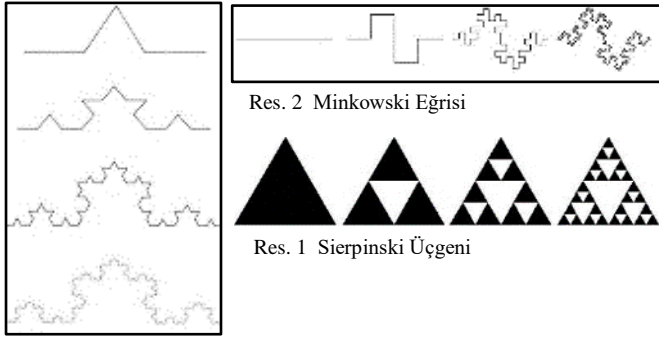
Bu çalışma kapsamında, kalabalık kentlerde dahi insanın çok yakınında yaşayan canlılar olan sincapların özellikle insana yaklaştığı noktalarda bir önlem ve koruma alanının gerekliliği savunulmakta ve bir barınma önerisi sunulmaktadır. Bu çalışmanın temel hedeflerinden biri de canlıyı bir yerden başka bir yere taşımadan doğal ortamında ona bir alan sunabilmektir. Bu hedefler doğrultusunda barınak tasarımı analizi için doğadaki karmaşıklığın geometrisi ile ilgilenen fraktal analiz yöntemi ile oransal bölünme kullanılmasına karar verilmiştir. Böylelikle doğada var olan bir fraktal düzen farklı bir doğal canlı için yeni tasarımın geliştirilmesinde kullanılabilmiştir.

II. FRAKTAL KURGU

Tarih boyunca, mimarlık ve geometri ilişkisinde sayılar, oranlar ve biçimsel etkileşimlerle ilgili araştırmalar yoğun olarak yapılmıştır. Gerek klasik mimaride, gerekse modern mimaride, inşa edilecek yapıların oranları için arayışlar devam etmiştir. Aslında ulaşılmak istenen oran ve orantıdır ve bu kavramlar matematiğin yanı sıra, estetik bilimin ve mantığın da en basit ve en önemli kavramları olmuşlardır.

Fraktal geometri, basit geometrik kuralların sürekli tekrar edilmesi yoluyla elde edilen şekillerle ilgilenir. Fonksiyonların sürekli olarak tekrarlanması ile fraktal biçimler elde edilir. Fraktal geometrinin temel kuralları; başlangıç koşullarına hassas bağlılık, tanımlı sonsuz karmaşıklık ve özbenzeşimdir.

Fraktal kurgunun genel özellikleri; kesirlerle ifade edilmesi, doğadaki formlara uygulanabilir olması, tekrarlama kuralları sonucu oluşması, öz-benzer elemanlar barındırması, birden farklı öz-benzerlik türleri gösterebilmesi, doğada bulunanlar haricinde sonsuz bir yapıda ilerleyebilmesi, uzamsal açıdan düzensiz olguyu ve düzensiz biçimi tanımlama yeteneğine sahip olmasıdır.



Res. 3 Koch Eğrisinin Geliştirilme Aşamaları

III. ALAN ÇALIŞMASI: BARINAK TASARIMI

Doğadaki karmaşık düzeni çözümlenmek için geliştirilen fraktal geometri, tasarımdaki düzeni yeniden yorumlamada üretken bir tasarım yaklaşımı olarak yol gösterici olmuştur. Bu çalışma kapsamında fraktal düzen de olduğu gibi bilgi edinme, analiz, üretim ve ürün aşamaları kullanılarak yeni bir tasarım oluşturulmuştur.

A. Bilgi Edinme

1) Barınak Yapılacak Canlı: Sincap

Sincap: Sincapgiller (Sciurus) familyasından uzun kuyruk tüyleri ile dikkat çeken kemirici memeli hayvan türlerinin ortak adı. Halk arasında farklı söylemleri bulunmaktadır (teyin, deyin ve değin). Bu söylemlerden en çok bilineni de 'çekelez'dir.

Familya içinde ağaç sincapları, yer sincapları, çizgili sincaplar, uçan sincaplar, marmotlar ve çayır köpekleri bulunmaktadır. Bu familyanın günümüzde yaşayan beş alt familyası, 58 cins ve dünyanın hemen hemen her tarafına yayılmış 285 türü bulunmaktadır. Türkiye'de Sciurus türünden Anadolu Ağaç Sincabı (S. anomalus) ve Kızıl Sincap (S. vulgaris) olmak üzere iki tür sincabın yaşadığı bilinmektedir.

Anadolu Ağaç Sincabının sırtı kırmızı veya esmerimsi, karnı solgun donuk renkli, kulakları seyrek kıllı ve sivridir. Kızıl sincap kızıl renkte iken bu türün sırt bölümünde belirgin bir gri-açık siyah renkte bir koyuluk mevcuttur. Kışın kıl uçlarındaki pigment maddesi arttığından koyu renkte görünmektedirler. Boyları 18-25 cm., vücut ağırlıkları 280-480 gr. kadardır. Vücutlarının arkasında, hemen hemen kendi boyları kadar uzun (14-20 cm.), yukarı doğru kalkık duran, geniş ve gür tüylerden oluşan kuyrukları vardır. Sincaplar, bu kuyrukları sayesinde dengelerini bozmadan ağaçtan ağaca rahatlıkla atlayabilmektedirler. Bu atlama esnasında kol ve bacakları bir planör gibi açılarak, kuyrukları da yassılaşıyor hem dengelerini sağlamakta hem de yönlerini belirleyebilmektedirler. Kuyrukları soğuktan korumada da önemli rol oynamaktadır. Gözleri iri ve parlaktır. Uzak mesafeleri çok iyi ayarlayan keskin gözleri vardır. Görme ve koku alma duyuları çok iyi gelişmiştir. 30 cm'lik karın altındaki fındıkların kokusunu bile alabilmektedirler.

Arka ayakları daha uzun ve daha güçlüdür. Kulak uçlarında tüy demeti bulunmaktadır. Ağızlarının ön tarafında sert maddelerin kemirilip kırılmasını sağlayan kesici dişler ve arka uzun boşlukta da azı dişleri bulunmaktadır. Sincapların dişleri kırılıp aşınsa bile yerine hemen yenisi çıkmaktadır. Aşınan dişler sürekli uzayarak alttan yenilenmektedir. Çok iyi tırmanır ve sıçrarlar, hemen hemen bütün zamanlarını ağaçların üzerinde geçirirler. Ağaç gövdesinde baş aşağı ve baş yukarı hızla inip çıkabilirler.

Kış uykusuna yatmazlar ancak soğuk havalarda birkaç gün süren uyusukluk dönemleri olur. Sabah günün ilk ışıkları ile birlikte uyanır ve öğle sıcaklığına kadar gayet hareketli bir görüntü sergiler. Öğle vakti bir yerlere kıvrılıp kestirir sonra tekrar kalkar ve güne devam eder. İkinci sonrası da ikinci uykusuna çekilir. Bu uyku ertesi sabaha kadar sürer.

Çiftleşme dönemi dışında yalnız yaşarlar. Şubat ayından hazirana kadar olan dönemde yılda 2 defa doğurur. Yavruların üzeri çıplak, gözleri ve kulakları kapalı, kendilerine yetersizdirler. 20 gün sonra vücudu kıllanır ve 30-37 gün sonra gözleri açılır. Her bir seferde 5-7 yavru doğurur. Yavruların evcilleştirmek mümkündür. Ağaç sincapları 8-15 sene yaşarlar.

• Beslenme

Kışın yemek bulmakta zorlandıkları için yaz aylarında kış için yiyecek depo etmektedirler. Tohumları ve kabuklu yemişleri tek tek toprağa gömerek saklarlar veya kovuklarda depolarlar. Sakladıkları tohumların bir kısmını bulamazlar. Toprak altında unutulmuş tohumlar, yeni ağaç fidanlarının yetişmesine neden olur.

İğne yapraklı ağaçların tohumlarını dişleri ile kozalakları ısırarak serbest bırakırlar. Ağaç sincapları tercihen 10-30 yaşındaki melez çam, ladin, köknar, kayın, meşe ve huş ağaçlarını soyarlar (Klemm 1958). Meşe palamutları, ceviz, badem, fındık, tomurcuklar, mantarlar, taze ağaç kabukları, böcekler, salyangozlar ve kuş yavruları ile beslenirler.

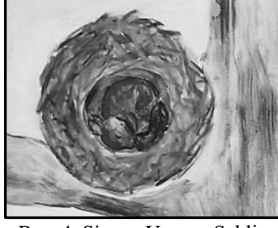
• Barınma

Sincaplar, özellikle ormanlık ve ağaçlık bölgelerde yaşamaktadırlar. Dalların, çatalların arasına, nadiren ağaç kavuklarına ve yırtıcı kuşların eski yuvalarına, küre şeklinde ot, yosun, yaprak ve bitki parçacıklarından birkaç yuva yaparlar. Yuvanın uzunluğu yaklaşık 50 genişliği 30 cm. Yuvanın özel olarak yapılmış giriş yolu yoktur. Bazen kenarlarında bir veya iki adet galeri bulunur. Sonbaharda, ağaç tohumlarını yuvalarına veya ağaç kovuklarına depo ederler. Yuvaları genellikle ağzının altta olması nedeniyle kuş yuvalarından ayırt edilebilir.

Uyurken tam bir top olur. Kuyruğunu ellerinin arasına alır hatta yüzüne güneş geliyorsa kuyruğunu elleri ile tutup yüzüne bir yorgan örter gibi çeker.



Res. 5 Doğal Yuva Görünümü



Res. 4 Sincap Uyuma Şekli

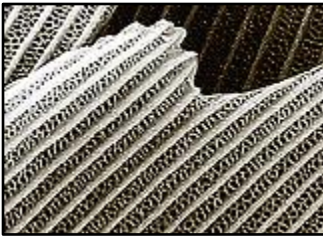


Res. 6 Doğal Yaşam Alanı Örneği

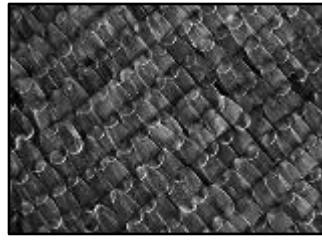
2) Üretim Yapılacak Canlı: Kelebek Kanat Yapısı

• Pulcuklu Yapı

Kelebekler aslında saydam olan bir çift zar kanada sahiptirler. Bunlar, yoğunlukları farklı pullarla kaplı olduğu için zar kanatların saydamlıkları belli olmaz. Kanatlar bu pulcukların üst üste dizilmesiyle meydana gelmiştir. Kelebeğin kanadına düşen bir su damlası, kolayca kayıp akar; beraberinde kir ve tozları da götürür. Yüzeyin kendini temizleme fonksiyonu, hem balmumu tabakasına hem de pulcukların yapılarına bağlı gerçekleşmektedir. Bu yapılar, kelebeklerin uçuşlarını da kolaylaştırır. Bir araştırmada, kelebeklerin uçuş performanslarının pulcuklu kanatlar sayesinde % 10 ile % 35 arasında arttığı tespit edilmiştir



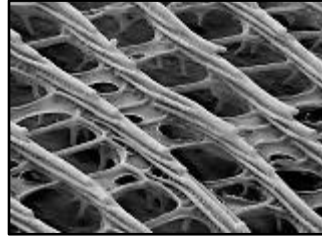
Res. 7 Kelebek Kanat Yapısı



Res. 8 60 kez büyütülmüş pullar



Res. 9 8300 kez büyütülmüş pullar



Res. 10 16.500 kez büyütülmüş pullar

• Kendini Temizleme

Hareketsiz bitkilerin kendilerini mantar, bakteri veya alg gibi mikroorganizmalara karşı korumaları için bir savunma yoludur. Çoğu bitki bu düşmanlara karşı kimyasal yollarla çeşitli ikincil metabolitler aracılığı ile savaşır, fakat mikroorganizmaların taşınması ve bu yüzeylere yapışmasının fiziksel olarak engellenmesi en etkili ilk korunma basamağıdır. Ayrıca, yaprakların kirle kaplanması yaprak yüzeyinin ışıkla temasını azaltacak ve fotosentez verimini düşürecektir.

Araştırmacılar, pulcuklardaki testere dişlerine benzer çıkıntılı uçların, kirli parçacıkların ve su damlalarının hareket ânındaki sürtünmesini en aza indirdiğini düşünmektedir. Ayrıca, havanın akış yönüne bağlı olarak kanatların temizlenmesi de kolaylaşmaktadır. Böylece kirler hava akımıyla kanatların uçlarına doğru yönlendirilmektedir. Bu tesir, ilk defa nilüferde gözlemlendiğinden, **nilüfer (lotus) tesiri** olarak bilinmektedir. Lotus fonksiyonu ile donatılmış bitki ve kelebekler, hastalığa yol açan mikroorganizmalara ve parazit embriyolarına karşı korunmaktadır. Kelebeklerin kanatlarının kendi-kendini temizlemesi suyun bağlanmamasını sağlar ve böylece kanatlar kelebeğin uçuşunu engelleyecek kadar ağır hale gelmezler.

• Isınma

Kelebekler soğuk havada kendilerini sıcak tutmak için güneşte kanatlarını açar. Bu kelebeklerin sırrı sadece kanatlarındaki koyu renkli pigmentte değildir. Pulların üzerinde sıra sıra dizilmiş petek benzeri delikler vardır; bu delikler ters V şeklindeki çıkıntılarla birbirinden ayrılmıştır ve bu çıkıntılar ışığın deliklere süzülmesini sağlar. Bu yapı, gelen güneş ışığını yakalayıp kelebeğin inanılmaz bir verimlilikle ısınmasını sağlar. Oyuklar, hava akımını sağlayacak şekilde üst üste konulmuş daracık levhalardan (plâklardan) oluşmaktadır. Bunların aralarına yerleştirilmiş yan lifler ihtiyaç olan stabilizeyi sağlama vazifesi görür. Oyuk yapısı ise, havanın eşit ve katmanlarla uyum içinde akmasına ve hava sürtünmesinin azalmasına vesile olmaktadır.

• Desenler

Pek çok kelebeğin üzerinde büyük bir canlılığın gözlerini çağrıştıran koyu renkli yuvarlak desenler vardır. Yine kanatların üzerindeki renkli pulcuklardan meydana gelen bu gözler, kelebeklerin en önemli savunma mekanizmasını oluştururlar. Kelebekler dinlenirken kanatlarını kapalı pozisyonda tutarlar. Herhangi bir düşmanla karşılaşma ya da ufak bir dokunuş sonucunda kanatlar ani olarak açılır ve kanat zeminindeki iri ve koyu renkli parlak göz desenleri ortaya çıkar. Bu sayede düşmana gereken mesaj iletilmiş olur.

İki kanat üzerindeki desenler birbirinin aynısıdır. Desenlerin boyutları eşittir. Her iki kanatta simetrik olarak yer alan bu benekler kelebeklerin uçabilmesi için çok önemli bir fonksiyona sahiptir. Uçmak için gerekli olan vücut

sıcaklığına ulaşabilmek için kelebekler bu beneklerden faydalanırlar.

- *Kamufraj*

Çoğu kelebeğin kanatlarının üstünde ve altında birbirinden farklı desenler bulunur. Kelebekler bu desenleri kamufraj için kullanır. Vücutlarının alt kısımlarında genellikle soluk renkler vardır. Saklanmak istediklerinde kelebekler bu renklerinden faydalanır. Daha parlak ve canlı renklerdeki desenlerini ise gerektiği zamanlarda -çiftleşme dönemlerinde olduğu gibi- kanatlarını açık tutarak ortaya çıkarırlar.

Kelebek Kanatlarındaki Renk Üretimi:

Flüoresan pigmentleri: Dışarıdan UV emip istenilen aralıkta ışığı geri verir. UV, görünür ışığın dışında olan bir dalga türüdür. Örneğin karanlık bir odada UV'ye maruz bırakılan kelebeklerin mavi-yeşil renkte ışıldadığı görülür.

Dağıtılmış Bragg Yansıtıcısı: Pigmentlerin altında kahr, pigmentlerden dağılan ışığı olması gereken yöne geri çevirir. Kelebekteki renk pigmentlerinin altında katmanlarla kaplı bir bölüm vardır. Bu katmanlardan oluşan yapı, son derece özel bir "ayna görevi" görür.

Fotonik Kristal: Pigmentlerin üstünde olan içi boş hava silindirlerinden oluşan bölümdür. Bu da ışığın kelebeğin kanadının içinde hapsolmesini ve kenarlara yayılmasını engelleyip, hedefe doğru yönlendirir. İçi boş hava silindirlerinden oluşan fotonik kristaller, ışığın dağılmasını önler ve ışığı belli bir doğrultuda yönlendirmek için teknolojide kullanılır.

- *Kelebek Kanat Yapısından Faydalanılan Araştırmalar*

Nanoteknoloji, optik cihazlar ve güneş pilleri, bilgisayar ve telefon ekranları, led ışıklar...

Kaliforniya Teknoloji Enstitüsü ve Karlsruhe Teknoloji Enstitüsü araştırmacılarından oluşan bir ekip, gül kelebeğinin kanat mimarisini taklit ederek, ince film güneş hücrelerinin verimini iyileştirmeyi başardı. (Science Advances dergisi)

"Kelebeğin kanadı, doğadaki en narin yapılar arasında sayılabileceğiyle birlikte, su ve güneş ışığından hidrojen gazı (geleceğin yeşil yakıtı) üretimini iki katına çıkaracak yeni teknolojiler için araştırmacılara güçlü bir ilham kaynağı oluyor." (Science Daily)

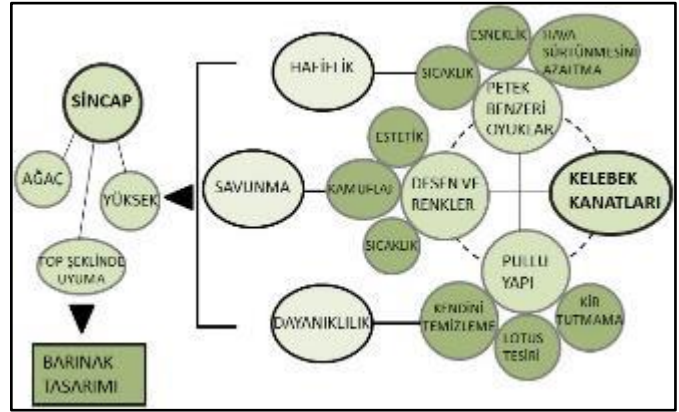
B. Analiz

1) Kavramsal Analiz

Yuvaların ağaç dalları arasında ve çeşitli yüksekliklerde bulunması zorunluluğu; hafiflik, dayanıklılık gibi ihtiyaçlar doğurmuş ve bir barınma alanı olması, canlılığın doğal yuvasına benzerliği ve diğer canlılardan korunmasını şart kılmıştır.

Kelebek kanatlarında bulunan peteklere benzer yapılar taklit edilip ürüne etki eden hava sürtünmesi azaltılarak rüzgâr etkisi sınırlandırılmaya çalışılmış aynı zamanda sıcaklık sağlanması desteklenmiş ve kabuğa esneklik kazandırma

vasıtasıyla bir dayanım sağlanmıştır. Desenlerin kullanımı sıcaklık sağlarken aynı zamanda diğer canlılara karşı bir kamufraj görevi de üstlenmiştir. Pullu yapının uyarlanması lotus tesiri ile ürünün yağmurdan korunmasına, kir tutmamasına ve kendini temizlemesine yardım ederek dayanıklılık vermiş ve uzun ömürlü olmasını sağlamıştır.

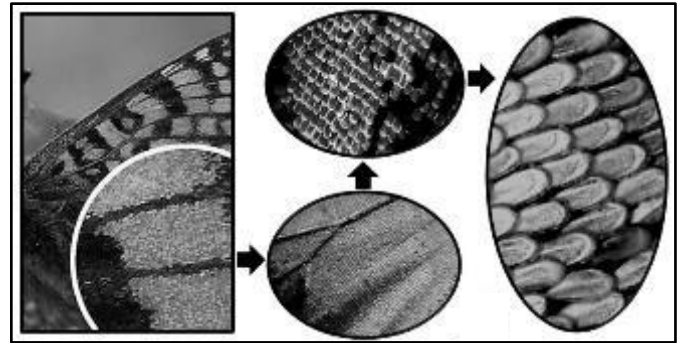


Res. 11 Kavramsal Harita

2) Fraktal Analiz

Kelebek kanatlarındaki pulcuklu yapının oransal bölünme yöntemiyle uyarlanması kabuk tasarımının temel işleyişini belirlemekte kullanılmıştır.

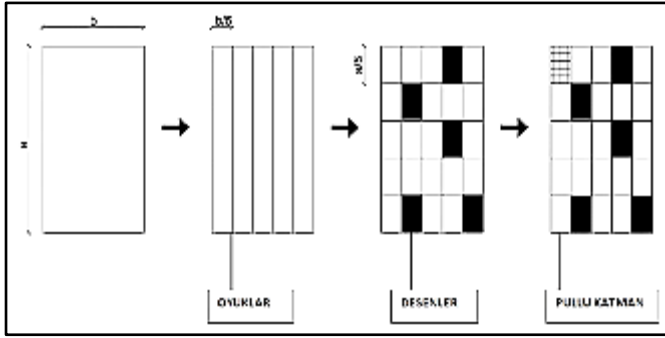
Kanatların zeminini oluşturan pulcuklarda genelden özele doğru işleyen mantık aynı şekilde korunmuştur.



Res. 12 Kelebek kanadının pullu yapısının irdelenmesi.

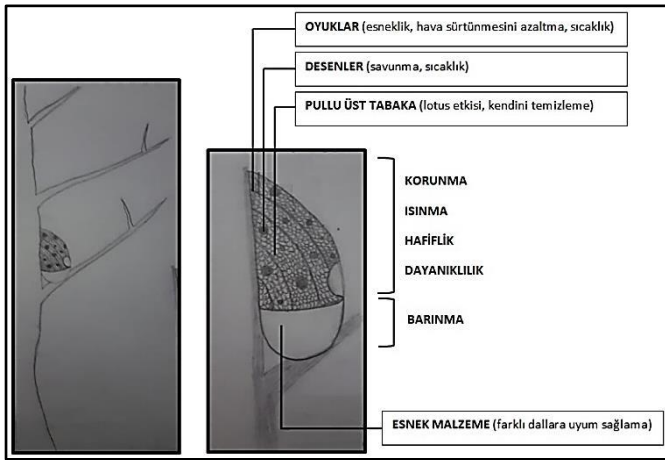
C. Üretim

Fraktal geometrinin; başlangıç koşullarına hassas bağlılık, sonsuz karmaşıklığı tanımlama ve özbenzeşim gibi temel kurallarına bağlı kalınarak, basit geometrik kuralların sürekli tekrar edilmesi ile elde edilen şekiller, oransal bölünme yöntemi kullanılarak barınağın kabuğunu biçimsel olarak tasarlamada kullanılmış ve taklitsel biçimler beraberinde fonksiyonel avantajları da getirmiştir.

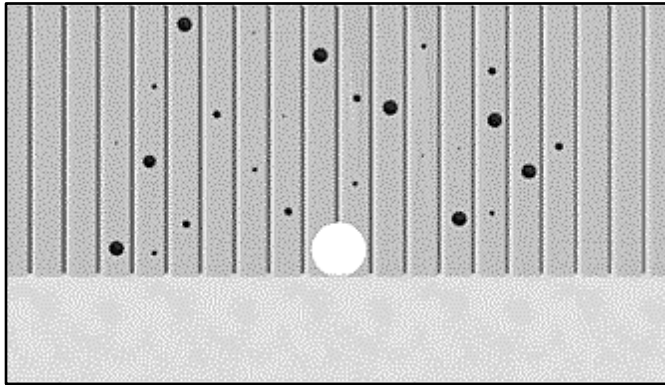


Res. 13 Oransal bölünme yöntemi ile kabuk tasarımı.

D. Ürün



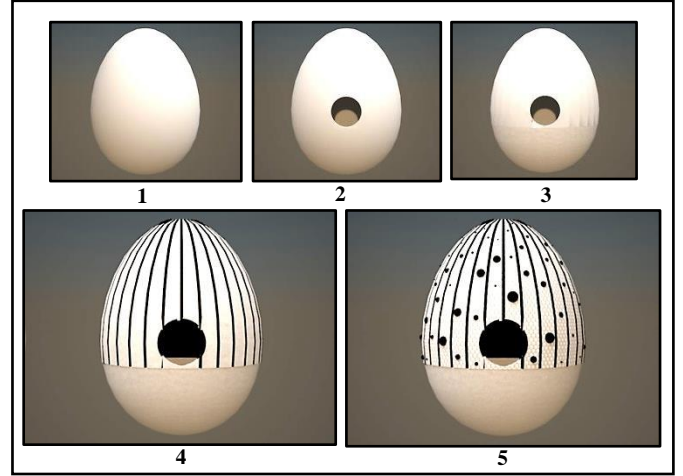
Res. 14 Ürün Tasarım Eskizleri



Res. 15 Kabuk Yapısının Düzlemsel Hali



Res. 16 Görünüşler



Res. 17 Belirlenen Form Üzerinde Kriterlerin İşlenme Süreci

IV. DEĞERLENDİRME VE SONUÇ

Fraktaller, bir şeklin, motifin ya da matematiksel bir denklemin yinelenmesiyle oluşturulmaktadır. Oluşumları başlangıç biçimine bağlıdır (Gözübüyük 2007).

Bu bağlamda ele alındığında fraktal kurgu; büyük ölçekten çok daha küçük ölçeklere kadar herhangi bir yapıda detaylandırabileceğimiz kendine benzer biçimlerin varlığı olarak tarif edilebilir (Bovill 1996).

Kurgulanan barınak tasarımında, doğada var olan fraktal kurgular üzerinden bir inceleme yürütülmüştür. Esin kaynağı olan kelebek kanatlarının karmaşık yapısının tanımlanmasında fraktal kurgunun doğadaki karmaşıklıkları tanımlayabilme yetisinden faydalanılarak oransal bölünme yönteminin bu tanımlı yapabildiği gözlenmiştir. Sincap canlısının ihtiyaçları doğrultusunda, kelebek canlısının kanat yapısı fraktal kurgu bağlamında belirlenen bu yöntem ile analiz edilmiştir ve yaratılan denklem ile bir kabuk tasarımı gerçekleştirilmiştir.

Sonuç olarak; yapılan barınak tasarımı form bakımından sincapların top şeklinde uyuması kaynaklı biçimlenmiş ve süreçte doğal sincap yuvalarının şekillenmesinden uzaklaşmamıştır. Fonksiyon olarak ise istenilen kriterleri sağlaması açısından kelebek kanatlarının yapısından yola çıkılmıştır. Kavramsal analiz yöntemiyle belirlenen farklı ihtiyaçlara cevap vermesi bakımından barınma ve kabuk olarak iki ana bölüm tasarlanmıştır ve bölümlerde fonksiyonel ayrışma sebebiyle farklı malzemeler ve uygulamalar öngörülmüştür. Tasarım, üretim aşamasında değişik ölçülerde uygulanabileceği gibi, temel olarak canlının doğal yuva ölçülerinden (50x30 cm) uzaklaşmadan tasarlanması uygun görülmüştür.

KAYNAKLAR

- [1] Akgöl, B. (2007). Karın Organlarının Arterial Vaskülarizasyonu Üzerine Makro-Anatomik İncelemeler. *Elazığ*.
- [2] Ali, B. (2015). Mimarlıkta Tasarlama Yöntemleri Ve Fraktal Tasarımlar Üzerine Bir İnceleme. Yüksek lisans Tezi, Kocaeli: Kocaeli Üniversitesi.
- [3] Alkan, B. (1965). , Türkiye'nin Ağaç Ve Tarla Sincapları (Mammalia-Sciuridae) Üzerinde Bazı İncelemeler (Bilinen türler; vasıfları, biyolojileri, besinleri ve bulunduğu yerler). *DergiPark*, 5 (4), 151-162.
- [4] Astrid Wonisch, Margit Delefant, Marlene Rau. (2014). 2019 tarihinde Biyomimetik: bir ahtapot gibi yapışkan ve bir nilüfer yaprağı gibipürüzsüz?:<https://www.scienceinschool.org/tr/2011/issue18/biometics> adresinden alındı
- [5] Atilla Arslan, Elif Gülbahçe Mutlu, Emine Arslan. (2016). Bozkır Ağaç Sicabının (Sciurus Amomalus) Diğer Sciurus Türleri Arasındaki Filo Genetik Akrabalığı Belirlenmesi. Uluslararası Sempozyum: Geçmişten Günümüze Bozkır (s. 1411-1419). Konya: Selçuk Üniversitesi.
- [6] Değirmenci, F. B. (2009). Fraktal Geometri Ve Üretken Sistemlerle Mimari Tasarım. Yüksek lisans Tezi, İstanbul: İstanbul Teknik Üniversitesi.
- [7] Eroğlu, O. (2015). 2019 tarihinde Kelebeklerdeki 30 Milyon Yıllık Işık Teknolojisi: <https://yaratilis.com/index.php/kelebeklerdeki-isik/> adresinden alındı
- [8] Erzan, A. (1998). Doğadaki Fraktallar. *Bilim ve Teknik Dergisi*, 365 (23), 34-39.
- [9] Evren ve Bilim. (2017). 2019 tarihinde Kelebek Kanatlarındaki Şaşırtıcı Özellikler: <https://evrenvebilim.com/kelebek-kanatlarindaki-estetik-fonksiyonellik/> adresinden alındı
- [10] Gözübüyük, G. (2007). Farklı Mimari Dillerde Fraktallere Dayalı Form Üretimi. Yüksek Lisans Tezi, İstanbul: İstanbul Teknik Üniversitesi.
- [11] Kanatlar, Z. (2012). Fraktal Boyuta Dayalı Mimari Bir Analiz: Sedat Hakkı ve Konut Mimarisi . Yüksek Lisans Tezi, Bursa: Uludağ Üniversitesi.
- [12] Mitchell, G. (Yöneten). (2016). 72 Sevimli Hayvan Belgeseli 1.S: 8.B Uzun Kuyruklular [Sinema Filmi].
- [13] Özkan Evcin, Erol Akkuzu, Ömer Küçük. (2012). Anadolu Ağaç Sincabının (Sciurus anomalous (Güldenstaedbakımt, 1785))Ekolojisi: Kastamonu-araç Merkez Orman İşletme Şefliği Örneği. Kastamonu: Kastamonu Üniversitesi.
- [14] Uzel, S. (2018). 2019 tarihinde Kelebeğin Kanat Pullarının Renk ve Yapısının İlişkili Olduğu Anlaşıldı: <https://bilimfili.com/kelebegin-kanat-pullarinin-renk-ve-yapisinin-iliskili-oldugu-anlasildi/> adresinden alındı