

ORGANİZMANIN BİREYLEŞİMİNDE SELF-ORGANİZASYONUN ROLÜ

Çağlar KARACA*

ÖZ

Düzenlilik arz eden süreçlerin ve örüntülerin, belirleyici bir kalıp veya dışarıdan bir müdahale olmaksızın çok sayıdaki bileşen arasındaki karşılıklı ilişkilere dayalı olarak ortaya çıkması anlamına gelen self-organizasyon, günümüzde üzerine giderek daha fazla araştırma yürütülen bir olgudur. Self-organizasyonla bağlantılı düşünceler felsefe tarihinde Antik Çağ'dan itibaren ileri sürülmüştür. Bu olgunun dengeden-uzak sistemler temelinde termodinamik açıdan ele alınması ise bu alanda yeni bir dönemi başlatmıştır. Self-organize sistemlerde ve canlı varlıklarda form maddedeki akışa bağlı olarak ortaya çıkmakta ve içsel olarak belirlenmektedir. Organizmanın gelişim sürecinin self-organizasyonla bağlantısının kurulması, Aristoteles'ten itibaren çözülmeye çalışılan, canlılıkta formun gelişimi problemine ışık tutmaktadır. Bu makale, son dönemde yürütülen bilimsel çalışmalar temelinde söz konusu bağlantı üzerinde durmakta ve meselenin felsefi boyutuna dair bir tartışma yürütmektedir. Morfogenez sürecinde Turing örüntüleri gibi self-organize etmenlerin rolü üzerindeki çalışmalar organizmanın formu probleminin çözümünde yeni bir kapı aralamaktadır. Felsefi açıdan ise, Simondon'un değişmez forma öncelik tanıyan tözcülüğe karşı formun belirimini temel alarak öne sürdüğü ontolojik yaklaşım self-organizasyon ile örtüşmektedir.

Anahtar sözcükler: bireyleşim, Simondon, self-organizasyon, morfogenez, canlılık

THE ROLE OF SELF-ORGANIZATION IN THE INDIVIDUATION OF THE ORGANISM

ABSTRACT

Self-organization, which means the emergence of ordered processes and patterns based on reciprocal relations between multiple components without any template or external intervention, is a phenomenon that has been widely researched recently. Ideas that are related to self-organization have been brought forward by philosophers since the Ancient Age, too. Investigation of this phenomenon in relation to far-from-equilibrium systems from a thermodynamic perspective started a new era in this field. In self-organized systems and living things, the form appears as a result of the flow of matter and is determined internally. New research on the relationship between the form of organisms and self-organization sheds light on the problem of the development of form in living systems, which has been dealt with since Aristotle. In this article, I address this relationship based on recent scientific research and discuss the philosophical basis of the issue. Studies on the role of self-organized dynamics such as Turing patterns in morphogenesis provide new insights into the question of the form of organisms. And from a philosophical perspective, the ontological approach that Simondon proposed to emphasize the emergence of form against eternal forms and substance ontology is consistent with self-organization.

Keywords: individuation, Simondon, self-organization, morphogenesis, life

* Dr. Öğr. Üyesi, Kastamonu Üniversitesi, Bilim Tarihi Bölümü, Kastamonu / TÜRKİYE. e-posta: ckaraca@kastamonu.edu.tr ORCID: 0000-0002-4059-6916. Bu çalışma yazarın 2019 yılında Exeter Üniversitesi'nde tamamladığı "Relational Basis of the Organism's Self-organization: A Philosophical Discussion" adlı doktora tezinden türetilmiştir.

Makalenin geliş tarihi: 21.06.2023

Makalenin kabul tarihi: 07.11.2023

Submission Date: 21 June 2023

Approval Date: 07 November 2023

Giriş

Self-organizasyon süreklilik ve düzenlilik arz eden örüntülerin, belirli bir kalıba göre veya dışarıdan müdahalede bulunan bir özne tarafından herhangi bir şekilde belirlenmeksizin, kendiliğinden ortaya çıkmasıdır. Self-organizasyon düşüncesine göre düzenin kendiliğinden ortaya çıkması, düzenleyici ilkenin veya failin gelişim halindeki varlıktan ayırık olmaması anlamına gelir. Bu düşünce, evrensel ölçekte düşünüldüğünde Antik Çağ felsefesindeki bir tema olan kaostan kozmosa geçiş ile uyum içerisindedir. Bilindiği gibi kaos, evrende nesnelere henüz oluşmadığı, biçimsiz, organize olmamış başlangıç durumunu, kozmos ise çeşitliliği, formları ve kompleks organize yapıları içeren ardıl aşamayı tanımlar. Antik Çağ'da bu dönüşüm genellikle evrenin gelişim halindeki bir organizma gibi düşünüldüğü animizm çerçevesinde ele alınmıştır. Anaksimandros'a göre, belirsizlik durumunu içeren *apeiron*'dan sıcak ve soğuk arasındaki zıtlık oluşmuş, doğanın mevcut düzeni ise bu zıtlıktan meydana gelmiştir. Mevsimlerin değişimi ve göklerin devinimi gibi döngüsel süreçler zamanla kendiliğinden düzene oturmuştur. Atomcu filozoflar Demokritos ve Epiküros, formların ve düzenli yapıların ortaya çıkışında atomların rastgele çarpışmalarının rol oynadığını öne sürmüşlerdir. Özellikle Epiküros'un öngörülleri günümüz self-organizasyon görüşüyle oldukça paraleldir. Epiküros'a göre atomlar düşüşleri esnasında şans eseri yollarından saparlar. Epikürosçu Lucretius'un eserinde bu durum sapma anlamına gelen *clinamen* kavramıyla ifade edilir.¹ Bu görüşe göre organize sistemlerin oluşumunun temelinde determinist olmayan etmenler yatmaktadır.

Modern dönemde de benzer görüşleri savunan filozoflar bulunmaktadır. Örneğin, Goethe, von Baer ve Wolff gibi Alman düşünürler doğrudan organik nitelikte olan veya organik olanla iç içe geçmiş bir organizasyon ilkesini benimseyerek, organik gelişimin kendi kendini belirleyen yapılar sayesinde mümkün olduğunu ileri sürer ve felsefelerinde tinsel bir öz-belirlenim düşüncesini vurgularlar.² Self-organizasyon kavramını organizmanın bir özelliği olarak doğrudan zikreden ilk filozof ise Kant olmuştur. Kant, organizmada amaçlarla araçların, parça ile bütünün birleştiğini, bu nedenle organizmanın kendi kendini organize eden bir sistem olarak ele alınması gerektiğini belirtmiştir.³

¹ Titus Lucretius Carus, *On the Nature of the Universe*, London: Penguin Books, 1994.

² Herbert Spencer, "Progress: Its law and cause", *Essays: Scientific, Political, and Speculative*, c. 1, London: Williams and Norgate, 1891 içinde, 9-10.

³ Immanuel Kant, *Yargı Yetisinin Eleştirisi*, İstanbul: İdea Yayınevi, 2011.

Günümüz bilimsel literatüründe self-organizasyon kavramı giderek daha yaygın hale gelmektedir. Bu bağlamda, gerek canlı gerek cansız varlıktaki sayısız olgu self-organizasyonla bağlantılı olarak açıklanmaktadır. Fizikte incelenen, galaksilerden atmosferdeki siklon oluşumuna dek birçok düzeyde etkili olan çekerlerin (*İng.* attractor) oluşumu⁴ lazerlerin çalışma ilkesini oluşturan kendiliğinden eşgüdümlülük ilkesi, yitirgen sistemlerdeki dalgalanmalardan doğan düzenlilik,⁵ mühendislikte uygulanan güdümlü self-organizasyon ile yapay sistemlerin yatay bir şekilde koordine edilmesi⁶ ilgili örnekler arasında sayılabilir. Biyolojide ise hücre organellerinin süreçsel entegrasyonu,⁷ döllenmiş bir yumurtanın morfojenetik dönüşümü,⁸ embriyonik kök hücrelerindeki örtüntü oluşumu,⁹ sinir sistemi ve bağışıklık sisteminin işleyişi gibi sayısız süreçte self-organizasyonun rolü üzerinde durulmaktadır. Bunun yanında, çeşitli hayvan türlerindeki sosyal yapılarda, örneğin civık mantar (*Dictyostelium discoideum*) hücrelerinin toplaşmasında ve süperorganizma olarak da adlandırılan arı ve karınca kolonilerinde, yerel etkileşim kuralları temelinde beliren genel grup davranışlarının self-organizasyon açısından ele alınması yaygınlık kazanmıştır.¹⁰

Tüm bu gelişmelere rağmen, farklı disiplinlere yayılmış bilimsel referansların evrensel bir niteliği olan self-organizasyonun genel ilkelerinin anlaşılması için yeterli olduğu söylenemez. Söz konusu çalışmalarda üzerinde az çok uzlaşılan bir self-organizasyon düşüncesi görülmele birlikte, sistematik bir yaklaşım olmaksızın self-organizasyonla ilişkilendirilen olguların ortak temeli de ortaya konamayacaktır. Self-organizasyonu yalnızca fiziksel sistemlere özgü bir fenomen olarak ele alan bilimsel yaklaşımlar olmakla birlikte, böylesi bir sistematik yaklaşıma canlılık da dahil edilmelidir. Evrensel bir dinamiğin canlılık üzerinde etkide bulunmaması düşünülemez; hatta biyolojik sistemler kompleks yapıda olduğundan, self-organizasyonun da farklı organizasyon seviyelerinde

⁴ Per Bak, Chao Tang, ve Kurt Wiesenfeld, "Self-organized criticality: An explanation of the $1/f$ noise", *Physical Review Letters* 59, sayı 4 (1987): 381–84.

⁵ Ilya Prigogine ve Isabelle Stengers, *Order Out of Chaos: Man's New Dialogue with Nature*, London: Verso, 2017.

⁶ Mikhail Prokopenko, "Guided self-organization", *HFSP Journal* 3, sayı 5 (2009): 287–89.

⁷ Eric Karsenti, "Self-organization in cell biology: A brief history", *Nature Reviews* 9 (2008): 255–62.

⁸ Brian C Goodwin, "Developing organisms as self-organizing fields", *Self-Organizing Systems: The Emergence of Order*, ed. F Eugene Yates, New York: Springer, 1987 içinde, 167–80.

⁹ Alessia Deglincerti vd., "Self-organization of spatial patterning in human embryonic stem cells", *Current Topics in Developmental Biology*, c. 116 (2016): 99–113.

¹⁰ Scott Camazine vd., *Self-organization in Biological Systems*, Princeton: Princeton University Press, 2003.

ortaya çıkması beklenir. Bu bağlamda, organizmanın gelişimi ve self-organizasyon arasındaki bağlantıların açığa çıkarılması, her iki olguyu da daha iyi kavramamızı sağlayacaktır. Ontojeni, yani bir organizmanın embriyo evresinden başlayarak yaşam boyu geçirdiği gelişim süreci, bir bütün olarak organizmayı oluşturan unsurlar arasındaki ilişkiselliğe ve süreç içerisinde bütünü belirleyen kısmî etki alanlarının dönüşümüne işaret etmektedir. Bu durum ontogeninin kompleks bir self-organizasyon süreci olarak değerlendirilebileceği anlamına gelmektedir. Self-organizasyon ile organizma arasındaki bu bağlantıyı ontolojik açıdan Gilbert Simondon'un organizma bağlamında üzerinde durduğu bireyleşim ilkesi temelinde anlayabiliriz. Bireyleşimi, bir bireyin oluşum süreci olarak tanımlamak mümkündür. Self-organizasyon ise buna karşılık bireyleşime dair nedensel bir açıklama sunmakta, nedeni ve sonucu birbirinden tamamen ayrılmış olarak tasavvur eden dışsalcı yaklaşıma öz-belirlenim düşüncesine alan açmaktadır.

Self-organizasyon ve Bireyleşim

Bireyleşim kavramı bireyin nasıl tanımlanması gerektiği sorusuyla yakından bağlantılıdır. "Bir varlığın başlı başına bir birey olarak değerlendirilebilmesinin koşulu nedir?" sorusu, ilgili varlığın *i. özü*, *ii. bütünlüğü* ve *iii. tekil bir varlık oluşu* (veya diğer şeylerden ayrık oluşu) gibi unsurlar temel alınarak yanıtlanabilir ve buna bağlı olarak biyolojideki birey oluş da bu ontolojik ölçütler açısından değerlendirilebilir. *i. Özcü* bir yaklaşımla, örneğin iki farklı alyuvar hücresinin aynı doğal türe ait olduğu veya iki farklı insanın aynı biyolojik türe ait olduğu, buna bağlı olarak aynı türe ait olan bireylerin ortak bir özü olduğu ileri sürülebilir. Diğer yandan, doğal türlere yönelik pek çok felsefi sorgulamanın ve tür odaklı özcü tanımlamada türdeki değişimin hesaba katılması gerekir. Örneğin, mevcut türlerin değişimini ve yeni türlerin oluşumunu ortaya koyan evrim kuramı, değişmez bir öz düşüncesi ile çelişki içerisindedir. *ii. ve iii. ölçütlerine* bakıldığında ise bunların birbiriyle bağlantılı olarak anlam kazandığı görülebilir: Bir bireyin kendi içerisinde bütünlüğünün ölçüt olarak alınması, ancak o bireyin diğer şeylerden ayrık olması ile birlikte değerlendirildiğinde anlamlıdır. Dolayısıyla bireyin tanımlanması bunlardan yalnızca birine dayanılarak gerçekleştirilemez. Bunun nedeni neyin bütünü içerisinde kalacağını ancak ayrık olma durumunu temel alarak tanımlayabilecek oluşumuzdur. Bu ölçütlerin ise bağlama göre farklı tanımlara yol açacağını görebiliriz. Örneğin, bir hücredeki organeller bir zar içerisinde bulunduğundan ve bu şekilde bir arada tutulduklarından, hücrenin parçaları arasında belli bir bütünlük bulunduğu söylenebilir. Hücre zarının aynı zamanda hücrenin diğer

şeylerden ayrıık oluşunu belirlediği de ileri sürülebilir. Ancak, bu durumda bütünlüğün ve ayrıık oluşun neye göre belirleneceğine dair yeni problemler gündeme gelecektir. Örneğin, söz konusu olan tek hücreli bir organizma değil de çok hücreli bir organizmada yer alan bir hücre ise, ilgili hücre bu organizmadaki diğer birimlerle uzamsal temas halinde olacak, aynı zamanda hücrenin bütünlüğü başka bir bütünlükte içerilmiş olacaktır. Bu durumda ise hücrenin bireyliğinin organizmanın bireyliği ile ilişkisine dair –her ikisinin de birey olarak kabul edilip edilemeyeceği gibi— birçok problem ortaya çıkacaktır.

i, ii. ve iii. ölçütlerinden bir veya birkaçının öne çıkarılmasına bağlı olarak bireyin tanımı da değişecektir. Diğer yandan, birey olmayla ilgili bu ölçütlerden birini benimsediğimizde biyolojiye ve genel olarak tüm varlıklara uygulanabilecek bir bireylik tanımını kısmen elde edebilmemize rağmen, bireyin hangi koşullarda ortaya çıktığı veya geçerli olduğu sorusunu yanıtlamak için yeterli bir zemin elde edemeyiz. Tüm bunları tartışırken varmak istediğimiz sonuç şudur: Söz konusu mesele canlılıkla ilgili olgulara açıklama zemini sunan bir ontoloji geliştirilmesi olduğunda, bireyleşimin temelinde yer alan süreçsellik ve ilişkisellik unsurları göz önünde bulundurulmadığında, bu tür ölçütler sınırlı bir şekilde uygulanmış olacaklar ve/veya bir noktada geçerliliğini yitireceklerdir. Bu nedenle birey oluş ölçütünün belirlenmesi problemi, bireylik kapsamında ele alınan varlıkların nasıl ortaya çıktığı, bir başka deyişle bunların bireyliğini nasıl edindiği ve ne koşullarda sürdürdüğü gibi ampirik sorularla bağlantılı olarak ele alınmalıdır. Örneğin, tek bir insanın bireyliğini insan kavramına atfedilen genel özellikler bağlamında ele alabiliriz. Ancak böylesi bir yaklaşım, ilgili bireyin oluşumu ve varlığını sürdürmesiyle ilgili problemlere, bir diğer deyişle bireyin süreçselliğine ilişkin herhangi bir söz söylemek zorunda değildir ve salt bu duruma bağlı olarak belirli sınırlılıklar içerebilir. Türünün özellikleri açısından ele alınan insan bireyinin yanı sıra, bir de doğan, yaşayan ve sonunda ömrünü tamamlayarak bedensel bütünlüğünü ve hayatî fonksiyonlarını yitiren bir insan bireyi bulunmaktadır. Bu birey ancak süreçsel olarak ele alındığında açıklanabilir. Yalnızca canlı varlıklar değil, cansız varlıklar da süreç ontolojisi açısından ele alınabilir. Örneğin, Büyük Patlama'dan yaklaşık 380.000 yıl sonra bir proton ve bir elektronun bir araya gelmesiyle oluşan bir hidrojen atomu kadar, kararsız bir atomaltı parçacık olan bir müon da var kaldığı süreç içerisinde bir birey olarak değerlendirilebilir. Hareketsiz haldeki müonun bozunmadan önceki ömrü yaklaşık olarak 2.2 mikrosaniyedir.¹¹ Bizim perspektifimizden bakıldığında ilgili süre ister kısa ister uzun gözüksün, birey

¹¹ Lulu Liu ve Pablo Solis. "The speed and lifetime of cosmic ray muons." *Physics Department, Massachusetts Institute of Technology, Cambridge, MA 2139* (2007).

olarak tespit edilen herhangi bir varlığın aynı zamanda süreçsel bir boyutu olduğu ve bireyin oluşum sürecinin bu boyuta dahil olduğu açıktır.

Organizma, gerek kendisini oluşturan parçaların ortak işlevlerde buluşması, gerek yaşam anından doğum anına dek kesintisiz bir ömür süresince var olması bakımından belli bir bütünlüğe sahiptir ve ancak bütünlüğünü koruduğu ölçüde var kalabilir. Bu durum göz önünde bulundurulduğunda, organizmanın süreçsel bir bütünlük taşıması açısından birey olarak tanımlanabileceği görülebilir. Ancak, eğer birey olmanın ölçütü olarak bireyin sonradan oluşmayan ve değişmez bir formu olmasını –yani ezeli ve ebedî olmasını— temel alacak olsaydık, bu durumda organizmanın bu ölçütü karşılamadığını ve dolayısıyla bireysellik taşımadığı sonucuna varacaktık. Sorun şu ki, ebedî ve değişmez bir form düşüncesi ampirik verilere dayanmamakta, bunun yerine birey oluşa ilişkin idealize edilmiş bir beklentiyi yansıtmaktadır. Bu durumda organizmanın ideal bir koşula bağlı olarak birey olup olmadığına odaklanmak yerine, birey olmanın tanımını sorgulamaya açmak daha makuldür.

Gilbert Simondon'un bireyleşim odaklı ontolojisi ve bu bağlamda tözcü ontolojiye getirdiği eleştiriler organizmaya ilişkin yeni bir felsefi kavrayışa olanak tanımakta ve böylece bu makalede ele aldığımız, yaşamın organizasyonu ve süreçselliği ile organizma arasındaki bağlantıyı destekleyen bir zemin sunmaktadır.¹² Simondon'un ontolojik yaklaşımındaki temel sav, bireyi önceleyen şeyin bireyleşim süreci olduğudur. Tözcü ontoloji bireyi, ancak onun formu başlangıçtan itibaren verili olduğu sürece tanımlayabilir ve bu nedenle birey-öncesi ile bireyin açığa çıkması arasındaki geçişe dair herhangi bir öngörüye dayanak olamaz. Buna karşın Simondon'a göre birey başlangıçtan itibaren verili değildir; belirli süreçlerin sonucunda ortaya çıkar ve yine bir süreç olarak devam eder. Dolayısıyla, bireyi birey yapan, olduğu gibi var olan bir varoluş biçimi değil, bireyin formu önceleyen koşullarda bir olanak olarak beliren oluşum sürecinin kendisidir. Makalenin kalan bölümünde bu konuyu detaylandıracağız.

Formun Sürekliliği ve Canlılık Arasındaki İlişki

Self-organizasyonun en genel tanımının rastgele ve düzensiz etkileşimlerin olduğu koşullarda karşılıklı ilişkilerine bağlı olarak belirli örüntülerin ve sürekliliklerin doğması olduğundan söz etmiştik. Bu tanımda sözü edilen dinamikler formun içsel olarak belirlenmesiyle yakından bağlantılıdır.

¹² Gilbert Simondon, "The genesis of the individual", *Incorporations* 6 (1992): 296–319.

Formun içsel belirlenmesi, bir anlamda Aristotelesçi metafizikteki *entelekheia* ilkesine benzetilebilir, ancak bu kısmî bir benzerliktir. Self-organize sistemler, *telos* ilkesinden farklı olarak, belirli fiziksel etkileşimlerin bir sonucudur. Genel olarak biyolojik formu belirleyen etmenler ise yerel olarak çeşitli organizasyon düzeylerinde açığa çıkabilir ve bu anlamda birbirinden bağımsız olabilir. Aristoteles'in kozmolojisinden farklı olarak, gerek self-organizasyon gerekse biyolojik form oluşumunun açıklanması evrensel bir teleolojik bütünlüğe veya tözcü bir metafiziğe dayalı değildir.

Bu bağlamda, bu kısımda madde-form ikiliğini erekselliği temel alan *entelekheia* ilkesi yerine bireyleşimin olumsal dinamiklerini temel alan self-organizasyon ile açıklanması üzerinde durulacak, madde-form ikiliği ereksel neden yerine işlevle bağlantılı olarak ele alınacaktır. Bu konudaki temel bir varsayımımız şudur: Self-organize sistemler form-işlev ilişkisinin kurulduğu biyolojik varlıkların bir ön aşamasını oluştururlar. İşlevsel açıklama, en basit ifadeyle, bir şeyin varlığının onun ne işe yaradığına bakılarak açıklanmasıdır. Başlangıçta olumsal koşulların bir ürünü olarak gerçekleşen belirli bir işlev, ilgili işlevi yerine getiren özelliğin ait olduğu varlığın varkalmasına katkıda bulunuyorsa, zaman içerisinde ilgili özellik kalıcılaşabilir.¹³ Canlıların evrimini belirleyen doğal seçim, bir özelliğin işleve bağlı olarak varlığını sürdürmesini ve böylece kalıcılaşmasını açıklar.¹⁴ Doğal seçim, evrimde genel bir erekselliğe ihtiyaç duyulmaksızın işlevin kalıcılaşmasını açıklayabildiğinden, form-işlev ilişkisi Aristotelesçi anlamdaki form-erek ilişkisinin yerini almaktadır. Canlı varlıklarda süreklilik kazanan belirli formların anlamlandırılması en iyi işlev temelinde yapılabildiğinden, form-işlev ilişkisi biyolojide temel bir öneme sahiptir.

Bir bireyin süreçsel varlığı, maddî açıdan veya formel açıdan ele alınabilir. Bronz bir küreyi düşünelim. Bronz küre aşınırsa, formunda da küçük de olsa bir değişim meydana gelir. Kürenin aşınması, küreyi oluşturan atomların ayrılması anlamına gelir. Dolayısıyla kürenin maddesindeki değişim, onun formundaki değişimi beraberinde getirir. Bu nedenle kürenin bireyliğinin devamlılığı, yani kürenin aynı küre olarak kalıp kalmadığı konusunda, maddesinin nitelik ve miktar olarak tamamen aynı kalmasını ve buna bağlı olarak formunun da hiçbir değişime uğramamasını ölçüt alacak olursak, aşınma gibi küçük bir etkide bile formda değişim gerçekleşeceğinden ve böylece fiziksel değişim küreyi aynı küre olmaktan çıkarmış olacağından, bu ölçüte göre birey

¹³ Larry Wright, "Functions" *The Philosophical Review*, 82, sayı 2 (1973): 139-168.

¹⁴ Peter McLaughlin, *What Functions Explain: Functional Explanation and Self-Reproducing Systems*. Cambridge: Cambridge University Press, 2001.

oluş da kesintiye uğrayacaktır. Bunun yanında, bronz kürenin formu dinamik bir süreklilik içerisinde değildir ve dışsal olarak küreyi yapan kişi tarafından belirlenmiştir. Dolayısıyla kürenin formunun oluşumu ve varlığı arasında herhangi bir doğal ilişki yoktur ve burada nesnenin varlığını sürdüren bir unsur da bulunmamaktadır.

Aristoteles'in öne sürdüğü *entelekheia* ilkesi, onun canlılığa ilişkin derin kavrayışının izlerini taşımakla birlikte, bu ilkenin metafizik açıdan madde-form ikiliğine dayanıyor olması aslında bu kavram temelindeki ardıl felsefi görüşleri de bambaşka bir kulvara taşımaktadır. Aristoteles'e göre canlılarda form kendi kendini sürdüren ve dış etkileri nötralize edebilen bir niteliktedir. Buraya kadarki saptama biyolojiye ilişkin genel bir ilkeyi dile getirmekle birlikte, Aristoteles'in öne sürdüğü hilomorfizm, forma özsel bir öncelik tanır ve maddeyi kavram itibarıyla edilgen olanla sınırlandırır. Simondon böylesi bir madde-form ikiliğinin formu önceleyen olumsal koşulları içeren dinamik bir yaklaşımı olanaksız kılacağını, bu nedenle hilomorfizmin reddedilmesi gerektiğini, bireyin ebedi formu yerine bireyin doğal yollardan açığa çıkmasını temel alan bireyleşim ilkesinin benimsenmesi gerektiğini öne sürmüştür.¹⁵ Simondon'un bu eleştirel tutumuna paralel bir şekilde ilerleyerek, formun maddeye kendini dayatan bir unsur ele alınamayacağını, aksine formu yaratan dinamizmin maddede yer aldığını, özellikle de self-organizasyon odaklı çalışmaların bu sonucu desteklediğini göstermeye çalışacağız.

Dalma (*İng.* plunge) türündeki bir şelaleyi ele alalım. Bu tür bir şelalenin döküldüğü kaya ile teması akış sırasında kesilir. Akışın zeminle teması olmadığı için, dalmanın formunu belirleyen sabit bir kısıt söz konusu değildir; form akışın kendisiyle özdeşleşmiştir ve suyun aşağı yönlü hareketine neden olan yerçekimi tarafından belirlenmektedir. Şelalenin (su halindeki) formunu ancak akış süreci içerisinde gözlemleyebiliriz. Bu form, maddedeki sürekli değişimle birlikte ve bu değişime bağlı olarak gerçekleştiğinden, şelale akarken şelaleyi oluşturan maddenin, yani su moleküllerinin sürekli olarak yenilenmesi söz konusudur. Bu durumda maddedeki değişim formu ortadan kaldıran değil, onu var eden bir unsur olarak ortaya konur. Öyle ki, suyun kaynağı kesildiğinde şelale de ortadan kaybolacağından formdaki süreklilik maddedeki değişime bağlı hale gelmiştir. Diğer yandan, bu örnekte form ile maddi süreç arasında belirli sınırlılıklar içeren bir ilişki söz konusudur. Formu oluşturan sınır koşulları (ırmağın yatağı, yerçekimi vs.) ile formun oluşum dinamikleri arasında büyük ölçüde tek yönlü bir ilişki vardır. Bir diğer deyişle, sınır koşulları formu belirler ancak formun

¹⁵ Gilbert Simondon, "The genesis of the individual"

belirlenim dinamiklerinin bu sınır koşulları üzerinde belirgin bir etkisi söz konusu değildir. Aşağıda açıklanacağı gibi, bu türden bir karşılıklı ilişki ancak self-organize sistemlerde ve spesifik olarak da canlı varlıklarda bulunmaktadır.

Self-organize sistemlere bir örnek olarak kasırğa oluşumunu ele alalım. Kasırgalar, düşük atmosferik basınç merkezinin etrafında dönen hava kütlelerinin oluşturduğu büyük (genellikle tropikal) siklonlardır.¹⁶ İçe doğru yönelen spiral rüzgarlardan ve merkezde basıncın dengede olduğu, kasırganın gözü olarak adlandırılan kısımdan oluşan siklonun genel yapısı uydu fotoğrafları sayesinde görülebilir. Kasırganın formu hava moleküllerinin akışı ile başlar ve nihayetinde basınç farkının ortadan kalkmasıyla sona erer; bu anlamda formun sürece bağlı olarak oluşumu söz konusudur. Alttan ısıtılan bir kabın içindeki sıvıda ortaya çıkan konveksiyon hücreleri de benzer bir dinamiğe sahiptir. Sıvı dolu kabın içerisinde başlangıçta belirgin bir sıcaklık farkı bulunmamaktadır. Bu durumda sıvıyı oluşturan moleküller çeşitli yönlerde rastgele bir hareket içerisindeyler. Verilen ısıyla birlikte kap içerisinde sıcaklık ve yoğunluk değişimi meydana gelir. Böylece moleküller yoğunluğun daha az olduğu yüzey kısmına doğru harekete geçerler. Yukarı yönlü hareket moleküllerin düzensiz hareketinin ortalama hızını aştığında, moleküller akma direncini alt ederek saat yönünde veya saat yönünün tersinde dönmeye başlarlar. Bu rotasyon hareketleri arasında süreç içerisinde bir korelasyon gelişir ve farklı boyutlarda sayısız konveksiyon hücresi oluşur. Başlangıçta oluşan küçük hücrelerin büyük hücreler tarafından yutulmasıyla makroskopik akıntılar oluşur. Oluşan altıgen şekilli konveksiyon hücrelerine Bénard hücreleri adı verilmiştir.¹⁷ Kasırgalar ve Bénard hücreleri dengeden-uzak (*İng.* far-from-equilibrium) dinamiklere sahip termodinamik sistemlere ilişkin örneklerdir. Dengeden-uzak dinamikler doğada yaygın olarak görülür ve türbülans gibi hava olaylarından galaksi oluşumuna dek birçok durumda belirleyicidir.¹⁸ Bu tür sistemler doğadaki self-organizasyonun birer örneğidir. Self-organizasyon ise termodinamik kapsamında açıklanabilen bir olgudur. Termodinamiğin ikinci yasasına göre, herhangi bir spontane süreç¹⁹

¹⁶ Rainer Feistel ve Wemer Ebeling, *Physics of Self-Organization and Evolution*, Weinheim: Wiley, 2011, 86.

¹⁷ Rod Swenson, "Spontaneous order, evolution, and autocatakinetics: The nomological basis for the emergence of meaning", *Evolutionary Systems: Biological and Epistemological Perspectives on Selection and Self-Organization*, Dordrecht: Springer Netherlands, 2013 içinde, 155-80.

¹⁸ Rainer Feistel ve Wemer Ebeling, *Physics of Self-Organization and Evolution*.

¹⁹ Termodinamikte dışarıdan herhangi bir enerji girdisi olmaksızın gerçekleşen ve sonucunda serbest enerjinin açığa çıktığı bir süreç spontane bir süreç olarak adlandırılır.

sonucunda evrendeki genel entropi²⁰ seviyesi artacaktır. Self-organize sistemlerde entropi seviyesi içsel olarak düşmekle birlikte, bu durum ikinci yasayla çelişmez çünkü söz konusu sistemin çevresiyle olan etkileşimi sonucunda çevredeki entropi seviyesi yükselir. Self-organizasyon sonucunda oluşan örüntü, örneğin bir siklon, çevreden enerji girişini sağlayarak kendi formunu korur ve aynı zamanda entropi seviyesini düşük tutar.²¹ Dolayısıyla self-organizasyon geçici olarak yerel bir düzenlilik artışına yol açar.²²

Self-organize oluşumlarda, formun sürekliliği tıpkı akan şelale örneğinde olduğu gibi maddenin ilgili yapı içerisinde korunumuna değil, aksine akışına bağlıdır. Bunun yanında, self-organize yapıda şelaleden farklı olarak formun oluşumu ile formun kendisi, yani süreçsellik bağlamında düşünecek olursak, formun oluşumu ile formun sürekliliği arasında da doğrudan bir ilişki söz konusudur. Bu karşılıklı ilişkide esas olan şey, sürecin sınır koşullarının ilgili sistemin oluşum dinamikleri tarafından belirlenmesidir. Form self-organizasyon süreciyle, yani dışsal etkinin bir kısıt oluşturması ile birlikte (örnekte, ısıtma sonucunda oluşan sıcaklık gradyanı sonucunda) oluşmakta, formun oluşumu ile süreçsel varlığını kazanması, yani kendi kendini sürdüren bir sistem olarak var olması birbiriyle örtüşmekte, ortamdaki enerji tüketildiğinde ise form dağılmaktadır. Ancak bu ilişkinin aynı zamanda bir işlev-form ilişkisi olduğunu söylemek yine henüz mümkün değildir. Self-organizasyon sonucunda ortaya çıkan yapıya dışsal veya içsel açıdan herhangi bir işlev atfedilmesi, ancak bu yapının daha kapsamlı bir süreklilik içerisinde bağlama bağlı bir rolünün olması ve buna bağlı olarak ilgili yapının seçilime uğraması ve/veya sürekli olarak tekrarlanmasını sağlayan evrimsel bir dönüşümden geçmesi ile mümkün olabilir.

Maddî değişim ve formel sürekliliğin yanı sıra parça-bütün arasındaki işlevsel ilişkilerin de söz konusu olduğu organizmadaki madde-form ilişkisini ele alalım. Tıpkı fizikte ele alınan self-organizasyon dinamiklerinde olduğu gibi,

²⁰ Entropi, düzensizlikle eşdeğer görülebilmekle birlikte, aslında tam olarak düzensizlik demek değildir. Boltzmann'ın formülasyonuna göre entropi bir sistemdeki belirli bir makro durumu sağlayan mikro durumların sayısıdır (Bkz. Feistel ve Ebeling, *Physics of Self-Organization and Evolution*, s. 232). İlgili makro durumu sağlayan ne kadar çok mikro durum bulunuyorsa, sistemin entropisi de o denli yüksektir. Boş bir kaptaki sıkışık bir şekilde bulunan gaz halindeki moleküller odanın geneline yayıldığında entropi seviyesi artar çünkü madde dağılmış haldeyken moleküllerin rastgele dağılımının oluşturduğu sayısız alternatif mikro durum aynı makro sonucu verebilir. Örneğin kabın yüzeyine uygulanan belirli bir basınç seviyesi birçok farklı mikro durumla sağlanabilir.

²¹ Feistel ve Ebeling, *Physics of Self-Organization and Evolution*.

²² Swenson, Rod. "Spontaneous order, evolution, and autocatakinetics: The nomological basis for the emergence of meaning".

organizmanın formu maddedeki sürekli değişime rağmen korunur ve hatta maddedeki değişim formun korunması açısından gereklidir. Organizmaların bir kısmı fotosentez veya kemosentez yoluyla kendi besinini üretirken, diğer bir kısmı da aldıkları besin yoluyla enerjisini diğer canlılardan elde eder. Bununla birlikte, tüm organizmalarda yeni organik bileşenlerin üretilmesi durmaksızın sürer; bu yolla organizmayı oluşturan madde yenilenmiş olur. Organizma; madde ve enerji açısından sürekli bir yenilenme içerisindedir ve bu durum formun korunması için zorunludur. Canlılarda formu belirleyen pek çok unsur (protein filamentleri, bitkilerde hücre çeperi vs.) sayılabilir. Bu makalede ele aldığımız süreç-form ilişkisi açısından önem arz eden bir durum ise organizmanın sınır koşullarının dinamik olarak belirlenmesidir. Tek hücreli bir organizma olarak, örneğin bir bakterinin formunu düşünelim. Bu organizma ile etrafı arasındaki sınır koşulu hücre zarı tarafından oluşturulmuştur. Hücre zarı sürekli bir yenilenme içerisindedir; bu yenilenmeyi sağlayan şey ise hücrenin içinde zarı oluşturan maddi bileşenlerin yeniden üretilmesidir. Organizmanın formunu oluşturan maddenin üretimi bir süreç içinde gerçekleştiği gibi, formu belirleyen sınır koşulunun kendisi, yani zar da süreçsel olarak varlık kazanır. Tabii ki bu durum çok hücreli bir organizma için de geçerlidir. Tek tek hücrelerin zarının yanı sıra, çok hücreli bir hayvanın derisi ve formu belirleyen iskelet gibi diğer unsurlar sürekli bir yenilenme içerisindedir. Dolayısıyla organizmanın formunu anlayabilmek için belirli bir andaki formun ötesinde, formun dinamizmine bakmak gerekir. Organizmanın sürekliliği ile fiziksel self-organizasyon arasındaki benzerlik burada ortaya çıkar. Self-organizasyonla oluşan sistemlerde olduğu gibi, organizmada da düşük bir entropi seviyesi bulunmaktadır. Organizma, çevresi ile sürekli madde alışverişi içerisinde olması ve sürekli olarak gerçekleşen enerji girişi sayesinde içsel entropisini düşük tutabilir. Bir anlamda organizma kendi entropisini dışarıya aktararak içsel düzenliliğini sağlar.²³ Organizma enerjisinin bir kısmını ısı yoluyla yitirdiği için aynı enerjiyi sürekli olarak kullanamaz. Bununla birlikte organizmanın edindiği enerji kaynağı formel sürekliliği sağlamak üzere oldukça verimli bir şekilde değerlendirilir.

Gerek self-organize sistemlerin gerekse organizmaların formu belirli bir türün (biyolojik türlerin yanı sıra, aynı özellikteki varlıkların belirli bir kavramın altına yerleştirilmesiyle tanımlanan türün) örneği olarak ele alındığında, türsel formun kendine özgü dinamiklerinin bulunduğu ve bu anlamdaki formun

²³ Bu duruma ilk dikkat çeken kişi fizikçi Erwin Schrödinger'dir (Bkz. Erwin Schrödinger. *What Is Life? The Physical Aspect of the Living Cell*. Cambridge: Cambridge University Press, 2012.).

varlığının başlangıç koşullarına hassas bir şekilde bağlı olmadığı görülür. İki farklı siklonu düşünelim. Bu iki varlık kaotik dinamiklere sahip olması açısından başlangıç koşullarına hassas bir şekilde bağlı olabilir. Bir diğer deyişle, siklonun olumsal koşullarındaki en küçük ayrıntı dahi onun nasıl gelişeceğini belirlerken hesaba katılmalıdır ve bu olumsal koşullar aynı zamanda belirli bir zaman ve mekânda ortaya çıkmış siklonun özgün bir varlık oluşunu belirler. Sonuçta hiçbir siklon bir diğeriyle tamamen aynı bir gelişim gösteremez. Diğer yandan, bu ikisi de siklon olarak adlandırıldığından aynı türe ait olarak kabul edilir ve siklon formu, tek bir siklonun ayırt edici özelliklerinin bir yana koyularak birey olan siklonun aynı zamanda bir türü temsil etmesini sağlar. Self-organize bir yapı olarak siklondaki birey-tür ilişkisini doğadaki diğer cansız varlıklardaki birey-tür ilişkisinden farklı kılan şey ise, formun bileşenler arasındaki ilişkisel bir eğilim sonucunda ortaya çıkmasıdır. İki hidrojen atomu, iki çakıl taşı belli açılardan birbirine benzer olduğu için aynı türe ait kabul edilebilir. Ancak self-organize yapılarda kısmî kökensel benzerliklere bağlı türsel bir aynılıktan ziyade, farklı türdeki²⁴ maddî unsurlarda ortaya çıkabilen gelişim dinamiklerindeki örüntü ortaklığı söz konusudur.

Bu durum organizmalarda da bu şekildedir. Örneğin, aynı türe ait iki organizmanın, örneğin iki farklı nil timsahının benzer özelliklere sahip olmasının nedeninin bu organizmaların aynı türe ait genler taşıması olduğu yaygın bir görüştür. Bu görüş doğru olmakla birlikte, cevabın genom olarak verilmesi bireyler arası benzerliğe ilişkin dinamik bir açıklama sunulması açısından yeterli değildir. Timsahın genomu bireyi önceleyen evrimsel geçmiş, örneğin doğal seçilime bağlı olarak belirli türsel özelliklerin açıklanabilmesi açısından belirli açılımlar sağlayabilir. Ancak, burada asıl olarak vurguladığımız sorun nasıl olup da (hangi dinamik etmenler sonucunda) bir nil timsahını oluşturacak olan hücrenin türe ait formu tekrar tekrar üretebildiğidir. Aranılan açıklama gelişim biyolojisinde bulunabilecektir. Söz konusu canlıların benzer özellikler taşımalarının nedeni bu açıdan embriyo gelişiminde benzer süreçlerden geçmeleridir. İki farklı nil timsahının oluşumunu belirleyen genler tıpatıp birbirinin aynısı değildir. Bunun yanında embriyo gelişiminden itibaren sayısız çevresel etmen de işe karışmakta ve bu etmenler bireyler arası farklılıklara yol açmaktadır. Buna rağmen türsel benzerliğin oluşabilmesine dair getirilecek nedensel açıklamada çok önemli bir unsur karşımıza çıkmaktadır. Self-organize sistemlerde olduğu gibi, organizmalarda türsel açıdan aynı formun oluşumunu

²⁴ Burada biyolojik türle sınırlı olmayan, daha geniş bir tür kavramına atıf yaptığımızı vurgulamalıyız. İngilizcedeki *kind* ve *natural kind* kavramları bu geniş anlamdaki türe daha yakındır. Elbette, bu kavramlara yönelik felsefi tartışmalar da bulunmaktadır, ancak kavramsal bir tercihte bulunmanın zorunluluğundan dolayı tür kavramını kullanıyoruz.

sağlayan çok sayıda fiziksel yolak mevcuttur. Bir diğer deyişle, türsel form çoklu olarak gerçekleştirilebilir. Organizmanın ontojenisindeki içsel belirlenim, self-organize bir fiziksel sisteme göre daha dayanıklı, süreklilik arz eden ve kompleks bir yapıya sahiptir. Bu nedenle, aynı kategoriye sokulan self-organize yapılar karşısında biyolojik türlerde tür ve birey ilişkisi çok daha sıkı bir biçimde belirlenmiştir. Bir sonraki bölümde daha ayrıntılı olarak açıklayacağımız üzere, embriyonun self-organizasyonunda dışsal uyaranlar olarak rol oynayan morfojenlerin üretimi ontojeni sürecine dahil olmakta ve geri-besleme ilişkileri sayesinde kompleks yapıya sahip, esnek bir heterojen gelişim ortaya çıkmaktadır.

Hem self-organize sistemlerde, hem de organizmalarda form kısıtlanmış bir şekilde gerçekleşen maddî değişime bağlıdır. Cansız maddedeki self-organizasyon sürecinde olduğu gibi, organizmada formun oluşumu ile formun sürekliliği arasında karşılıklı bir ilişki vardır. Bununla birlikte, kendi sınır koşullarını ancak geçici olarak (yani tek bir fiziksel süreklilik biçimi) halinde koruyabilen self-organize yapılardan farklı olarak, organizmada formun oluşumu çok daha kompleks ve stabilitenin çok daha sağlam olduğu bir süreçtir. Organizma bu anlamda dirençli (*İng.* resilient) bir yapıya sahiptir: Bir canlı varlığını tehdit eden koşullara yanıt verebilir, sürekliliğini kesintiye uğratabilecek etmenlere karşı iç organizasyonunu yeniden düzenleyebilir ve birçok türde olduğu üzere aktif olarak yeni enerji kaynakları arayışına girebilir. Bu iç organizasyonun gerçekleşmesi sadece bilinçli edimlere, örneğin bir hayvanın yiyecek araması gibi süreçlere bağlı değildir. Organizmanın daha embriyo oluşumu aşamasında iken içsel ilişkilere bağlı olarak kendi varlığını sürdürme kudretine sahip olduğunu görebiliriz. Bir canlının gelişiminde öncelikle zigot, ardından zigotun bölünmesiyle blastomer hücreleri oluşur. Hans Driesch, deniz kestaneleri üzerinde yaptığı deneylerde, 2 ve 4 blastomer hücresinden oluşan gelişim aşamasında her bir hücrenin yeni bir embriyoya dönüşebildiğini göstermiştir.²⁵ Driesch'in ortaya çıkardığı bu olgu günümüzde her bir hücrenin aynı genetik materyale sahip olması, gelişim aşamasındaysa başlangıçta hücrelerin totipotent ve pluripotent karaktere sahip olması ile daha iyi açıklanabilmektedir. Hücreler başlangıçta farklılaşmamış, yani belirli bir doku veya organa özgü nitelikleri henüz edinmemiş bir durumdadır. Tüm hücrelerin aynı genlere sahip olmalarına rağmen embriyo gelişimi sırasında farklı yapıya kavuşabilmeleri ise embriyonik indüksiyon sayesinde gerçekleşmektedir. İndüksiyonun temelinde yatan olgu, embriyo gelişiminde

²⁵ Hans Driesch, *The Science and Philosophy of the Organism*, London: Adam and Charles Black, 1908.

farklı bölgelerin farklı gelişimsel tesire sahip olduğu ve içsel etkileşimlerin uzamsal ve zamansal anlamda dinamik olarak gerçekleştiği morfogenetik alanın varlığıdır.²⁶

Organizmanın formel bütünlüğü aynı zamanda genler arası etkileşimler sayesinde aynı fonksiyonun alternatif yollardan yerine getirilebilmesi ile sağlanır. Söz konusu olgu genom esnekliği olarak tanımlanır.²⁷ Farelerde belirli bir genin ifadesinin durdurulduğu deneyler yapılmaktadır. Bu deneylerde, belirli bir gen çıkarılmakta veya genin faaliyeti engellenmekte, buna bağlı olarak gerçekleşen fenotipik değişimler gözlemlenmektedir. Belirli örneklerde, belirli bir geni etkisiz hale getirilmiş fare, o gen sağlıklı bir farede hayatî bir işlevi yerine getiriyor olmasına rağmen, varlığını sürdürebilmektedir. Bu örnekte, farenin embriyo gelişiminde genin yokluğu yeniden organize olma sürecini tetiklemekte ve genin engellenmesine bir bütün olarak tepki veren organizma yeni bir işlevsel yolağa girmektedir.²⁸ Rejenerasyon da organizmaların formunun sürekliliğine dair çarpıcı bir olgudur. Hidra ve planarya gibi hayvanlarda doku rejenerasyonu son derece etkilidir.²⁹ Öyle ki bu hayvanlar ikiye bölündüğünde her bir parça kalan yarısını yenileyerek bütün bir organizmayı yeniden oluşturabilir. Semenderlerin bir uzvu kesildiğinde, yerine yeni bir uzuvları oluşabilir. Kök hücrelerin veya kök hücre benzeri farklılaşmamış hücrelerin yenilenen doku hücrelerine dönüşümüyle gerçekleşen rejenerasyon, tüm canlılarda az ya da çok görülmektedir. İnsanlarda ve diğer memelilerde rejenerasyon daha düşük seviyede olmakla birlikte, örneğin deri hücreleri ve karaciğer hücrelerinde etkilidir. Tüm bunlar Kant'ın tanımladığı anlamda parçaların yeniden üretiminin bütünü varlığını sağladığı, bunun yanında form-işlev ilişkisinin kompleks bir şekilde kurulduğu biyolojik self-organizasyonu örneklemektedir. Bronz bir küreden, akan bir şaleden ve bir kasırgadan farklı olarak ancak canlı varlıklarda parçanın işlevi içsel bir şekilde, yani parçanın yer aldığı bütünlü ilişkisi temelinde tanımlanabilir. Formun değişkenliği ise organizmanın varlığını sürdürmesine hizmet etmektedir. Biyolojik işlevlerin yerine getirilmesi ile formun dinamik biçimde sürdürülmesi arasında sıkı bir bağlantı bulunmaktadır. Öyle ki bu iki unsur birçok durumda neredeyse birbiriyile özdeşleşmiştir.

²⁶ Antone G. Jacobson, Amy K. Sater; Features of embryonic induction. *Development* 104, sayı 3 (1988): 341-359.

²⁷ R. J. Greenspan. "The flexible genome". *Nature Review Genetics* 2, sayı 5 (2001): 383-387.

²⁸ Sandra D. Mitchell, "Exporting causal knowledge in evolutionary and developmental biology", *Philosophy of Science* 75, sayı 5 (2008): 697-706.

²⁹ M. C. Vogg, B. Galliot ve C. D. Tsiairis. "Model systems for regeneration: *Hydra*". *Development* 146, sayı 21 (2019).

Self-organizasyon ve Morfogenez

Self-organizasyon organizma öncesi, fakat organizmayı da kapsayan evrensel bir bireyleşim ilkesine işaret etmekte, bu anlamda ontojeniyle self-organizasyon arasındaki ilişki bu genel ilkenin yerel bir yansıması olarak ortaya çıkmaktadır. Bu nedenle organizmanın öz-belirlenimi evrendeki genel organizasyon eğiliminden bağımsız düşünülemez. Bununla birlikte, organizmanın formunu belirleyen bilginin tamamen genlerde saklı olduğuna dair indirgemeci yaklaşım günümüzde oldukça yaygındır.³⁰ Genetik materyalin kuşaktan kuşağa aktarılması yoluyla belirli fenotipik özelliklerin de bir sonraki nesle taşınması bu yöndeki kanaatin başlıca dayanağıdır. Genetiğin kurucusu kabul edilen Gregor Mendel'in gösterdiği üzere, bir bezelyeden alınan tohumların alındığı bitkinin rengi ve biçimi ile yeni büyüyen bezelyelerin rengi ve biçimi arasında belirli korelasyonlar bulunmaktadır. Bunun ardındaki genetik aktarım günümüzde moleküler düzeyde çok daha iyi anlaşılmıştır. Ancak, forma ilişkin belirli unsurların genlere bağlı olarak değişim göstermesi formun tamamen genler tarafından belirlendiğine ilişkin bir kanıt olarak ele alınamaz. Gelişimsel biyolojide yürütülen ve morfogenez sürecine odaklanan bilimsel çalışmalarla birlikte biyolojik formun bütünsel gelişim ilkelerinin daha iyi anlaşılmış, genetiğe dayalı olarak parçanın bütünü belirlediği savını içeren indirgemeci yaklaşımı sorgulamaya açılmıştır. Makalenin bu bölümünde örnekleri sunulacağı üzere, organizmanın birey oluşunu self-organizasyon odaklı olarak açıklamaya yönelik bu çalışmalar, bütünün etkileşimselliğini temel almaktadır.

Self-organizasyon ile morfogenez ilişkisi gen-merkezciliğe karşı önemli verilerin ortaya konduğu bir alan açmaktadır. Bu alandaki önemli araştırmalardan birini biyolog Brian Goodwin *Acetabularia* üzerinde gerçekleştirmiştir.³¹ *Acetabularia acetabulum* adı verilen türün üyeleri, dev bir yeşil alg hücrelerinden oluşur ve Akdeniz'in sıcak sularında, kayalık kıyılarda yaşarlar. Bu canlı, kısa kökler, görece uzun bir gövde ve şemsiye benzeri bir başlıktan oluşur. İçerisinde genetik materyalin bulunduğu hücre çekirdeği canlının alt kısmında bulunur. Yapılan deneyde bu organizma gövdenin tam ortasından ikiye kesildiğinde, genleri içeren kısım morfogenez yoluyla kendini tam olarak yenileyebilmiştir. Gövdenin her iki ucu birden kesildiğinde ise gövde kısmının genleri içermemesine rağmen iki uçtan birinde veya nadiren her iki

³⁰ Bu konuda ayrıntılı bir analiz için bkz. Lenny Moss, *What Genes Can't Do*. Cambridge: MIT Press, 2003.

³¹ Brian C Goodwin, "Problems and paradigms: What are the causes of morphogenesis?", *BioEssays* 3, sayı 1 (1985): 32-36.

uçta birden yeni bir başlığın oluşabildiği görülmüştür. Genlerin yer almadığı bu kısım kendini bir ölçüde yenileyebilmesine rağmen uzun süre hayatta kalamamaktadır. Bu durum genlerin basit bir canlının dahi morfogenez sürecinde ve sonrasında hayatta kalmasında hayati bir rolü olduğunu göstermekle birlikte, aynı zamanda genlerin ve self-organize örüntülerin birbirini tamamlayıcı nitelikte olduğunu işaret etmektedir. Eğer genetik materyal *Acetabularia*'nın bir bütün olarak formunun belirlenmesindeki tek unsur olsaydı, alt kısmı kesilen gövdede yeni bir başlığın hiçbir zaman oluşmaması beklenirdi. Bu yenilenme organizmada çevresel koşula tepki olarak self-organize bir şekilde gelişen örüntü oluşumuyla gerçekleşmektedir. Deniz suyunda kalsiyum iyonlarının oranı 10 milimol civarındadır. Yapılan deneylerde, kalsiyum oranı 1 milimole düştüğünde genler olmaksızın morfogenez gözlemlenmemiş, ancak bu oran arttıkça daha belirgin bir başlık oluşumu gözlemlenmiştir. Alg hücresinin eksenini belirleyen şeyin hücreye kalsiyum iyonu akışıyla gerçekleşen elektrik akımı olduğu tespit edilmiştir.³²

Acetabularia örneği, fiziksel sistemlerdeki self-organizasyona oldukça benzer bir şekilde, belirli bir dışsal uyarana (kalsiyumun derişim gradyanına) bir tepki olarak gerçekleşen örüntü oluşumunu göstermektedir. Bununla birlikte, genler olmaksızın belli örüntüler oluşabilmesine rağmen genetik regülasyon olmaksızın günümüz koşullarındaki kompleks bir organizmanın varlığını sürdürebilmesi söz konusu olamaz. Bunun nedeninin anlaşılabilmesi için, canlılıkta genetik regülasyonun belirleyici olduğu organizasyonla nonlineer dinamikler arasındaki bağlantının daha derinlemesine ele alınması gerekmektedir. XX. yüzyılın en önemli matematikçilerinden Alan Turing'in morfogenez üzerine yazdığı klasikleşmiş makale bu konuda yeni bir dönemi başlatmıştır.³³ Öyle ki, günümüzde canlılıkta self-organizasyonun rolü büyük ölçüde Turing'in matematiksel modellemesi üzerinden tartışılmaktadır. Turing, bu makalede belirli kimyasal süreçlerin nasıl formdaki heterojenliği sağlayabileceğini ele almış ve bu sürecin embriyo gelişiminin başlangıcındaki simetri kırılmasını açıklayabileceğini öne sürmüştür. Bu modele göre, kimyasal etkileşim içerisindeki en az iki bileşenin yer aldığı bir reaksiyon-difüzyon sistemindeki dalgalanmalar yoluyla heterojen bir form ortaya çıkabilir. Bu bileşenlerden biri hem kendi aktivitesini hem de diğer bileşenin aktivitesini katalize etmektedir. Diğer bileşen ise katalizörün etkinliğini inhibe edici özelliكتedir. Katalizörün etkinliğindeki artış, aynı zamanda inhibitörün miktarını

³² Goodwin, "Problems and paradigms..."

³³ Alan M Turing, "The chemical basis of morphogenesis", *Philosophical Transactions of the Royal Society of London. Series B, Biological Sciences* 237, sayı 641 (1952): 37-72.

arttırmaktadır. Böylece inhibitörün birikmesiyle başlangıçtaki katalize edici etkinlik dengelenmektedir. Katalizör ile inhibitör arasındaki bu etkileşim dinamiği kaotik bir dalgalanma örüntüsü yaratmaktadır. Modele göre, inhibitör katalizöre göre daha hızlı bir şekilde difüzyona uğramakta, bu durum ise her bir bileşenin reaksiyon ve difüzyon oranındaki farklılığa göre asimetric bir dağılım göstermesine ve homojen olmayan bir örüntü oluşmasına neden olmaktadır. Bu heterojen oluşum difüzyon odaklı kararsızlık denilen bir süreç sonucunda gerçekleşmektedir.

Turing'in ortaya koyduğu reaksiyon-difüzyon modeli, bir balığın derisindeki veya memelilerin kürkündeki çizgili desenler, kelebek kanadındaki desenler, embriyo gelişimi sırasında uzuvların oluşumunda etkili olduğu düşünülen çubuksu örüntüler, planaryada kök hücreler aracılığıyla gerçekleşen hücre yenilenmesi, yumuşakçalar ve zebrabalığındaki pigmentasyon gibi birçok biyolojik formun oluşumunu açıklamada kullanılmaktadır.³⁴ Bu modelin uygulandığı en önemli alanlardan biri ise Turing'in makelesinde kendisinin de dikkat çektiği üzere embriyo gelişimidir. Turing modelinin embriyo gelişimine uygulanabilmesi, aynı zamanda bir organizmanın oluşumunda self-organizasyonun rolünün aydınlatılması anlamına gelmektedir. Turing modelindeki kimyasal bileşenler birer morfojendir. Morfojenler, embriyo gelişiminde moleküler sinyallerin yerel derişime göre yorumlanmasını³⁵ ve böylece hücrelerin birbirinden farklı biçimlerde dönüşüm geçirmesini sağlamaktadır. Bu alanda son dönemde yapılan araştırmalar, embriyo gelişiminde kendiliğinden ortaya çıkan Turing örüntülerinin ve başlangıçta verili olan örüntülerin birlikte rol oynadığını göstermektedir. Buna göre, self-organizasyonla spesifik komutları içeren dışsal sinyallerin ortaklaşa bir etkisi bulunmaktadır.³⁶ Bu ortaklaşa etkinin varlığını destekleyen bir çalışmada, kök

³⁴ Stuart A Newman ve Gerd B Müller, "Origination and innovation in the vertebrate limb skeleton: an epigenetic perspective", *Journal of Experimental Zoology Part B: Molecular and Developmental Evolution* 304, sayı 6 (2005): 593-609.

³⁵ Wolpert'in öne sürdüğü Fransız bayrağı modeli kaynak hücrelerden yayılan morfojenlerin nasıl farklı hücrelerde farklı yapıların ortaya çıkabildiğini açıklamaktadır. Buna göre, morfojen derişimi kaynaktan uzaklaştıkça azalmakta, bu farklı yoğunluklar ise hücrenin sinyalleri pozisyonel bilgi kapsamında farklı yorumlamasına neden olmaktadır. Bu modele Fransız bayrağı adı verilmesinin nedeni kaynağa olan uzaklığa bağlı olarak gerçekleşen hücresel farklılaşmanın Fransız bayrağındaki üç renkte olduğu gibi farklı renklerle temsil edilmesidir (bkz. Lewis Wolpert, "The French flag problem: A contribution to the discussion on pattern development and regulation", *Towards a Theoretical Biology*, ed. Conrad H Waddington, c. 1, Edinburgh: Edinburgh University Press, 1968 içinde, 125-33.).

³⁶ Francisco Huizar vd., "Interplay between Morphogen-Directed Positional Information Systems and Physiological Signaling", *Developmental Dynamics: An Official Publication of the American Association of Anatomists* 249, sayı 3 (2020): 328-41.

hücrelerden alınan örneklerin *in vitro* ortamda (laboratuvar koşullarında) çoğaltılmasıyla embrioid adı verilen embriyo benzeri yapıların oluşabileceği gösterilmiştir.³⁷ Söz konusu deneyler embriyo gelişiminde sel-organizasyonun rolünü kanıtlar niteliktedir.

Morfogenezle ilgili çalışmaların bütünü parça tarafından değil, yine kendisi tarafından belirlenmesine odaklandığını belirtmiştik. Ancak bu yaklaşım bütünü nasıl ele alınması gerektiğiyle ilgili ontolojik soruları yanıtlamada tek başına yeterli değildir. Organizmada parçalar arasında ve parça ile bütün arasında self-organizasyon bulunmaktadır.³⁸ Uzamsal olarak ele aldığımızda, organizmanın bütünü gerek parçanın parçayla ilişkisinde, gerekse de parçanın çevreyle ilişkisinde sürekli bir aracıdır ve bu anlamda biyolojik etkileşimlerde bir düğüm noktası niteliğindedir. Parçanın formu parçanın bütünle ilişkisi, bütünü formu ise bütünü oluşturan parçalar arasındaki karşılıklı ilişkiler ve bütünü çevreyle ilişkisi üzerinden belirlenir. Bu bütünü zamansal olarak ele alınması ise daha da önemlidir, çünkü organizmanın bütünü dediğimiz şey aslında bir bireleşim sürecidir. Bu süreç formun içsel belirlenimi olarak tanımlanabilir. Formun belirlenimi ise embriyonun belirli dış uyaranlar doğrultusunda self-organizasyon sürecine girmesiyle başlamakta ve organizmanın self-regülasyonu ile devam etmektedir. Gerek gelişim döneminde gerekse rejenerasyonda görüldüğü üzere, bütünden belirli bir parçanın çıkarılması, bütünü yeniden oluşturulmasına yönelik süreci tetikleyebilmektedir. Süreçsel bir varlık olarak organizmanın yaşam süresinin bütünlüğüne odaklandığımızda, formun içsel belirleniminde organizmanın genomu, genlerin nasıl ifade edileceğini belirleyen transkripsiyon faktörleri (bunlar proteinler tarafından oluşturulduğundan proteom), metilasyon gibi epigenetik mekanizmalar, metabolizma faaliyetleri ve diğer sayısız etmenle birlikte, organizma içi süreçler arasında sürekli bir geri-besleme ilişkilerinin yer aldığı bir organizasyon ağı belirleyicidir. Bunun yanında, canlı varlıklarda formun içsel belirlenimi kadar, içsel belirlenmemişliği de rol oynamaktadır. Bu durum, bir süreç olarak organizmanın formunun sürekli olarak dönüşüm halinde kalabilmesini mümkün kılar. Örneğin, kök hücrelerin nihai formu belirlenmemiştir ve hücrenin işlevle uyumlu formel belirlenimi, bağlama bağlı olarak, rejenerasyon gibi gereksinimlere göre farklılaşma sürecine girmesiyle gerçekleşir. Bu durumu Simondon, organizmanın kendi potansiyeliyle sürekli bir

³⁷ J Serrano Morales, Jelena Raspopovic, ve Luciano Marcon, "From embryos to embryoids: How external signals and self-organization drive embryonic development", *Stem Cell Reports* 16, sayı 5 (2021): 1039-50.

³⁸ Kant, *Yargı Yetisinin Eleştirisi*.

etkileşim halinde olması şeklinde tanımlar.³⁹ Simondon'un vurguladığı üzere, belirli bir durağan sonucun gerçekleşmesinin ardından değişim potansiyelinin ortadan kalktığı kristalizasyon gibi fiziksel süreçlerden farklı olarak, organizmanın bireyleşim süreci yaşam boyu devam eder ve böylece organizma değişim kabiliyetini sürekli olarak muhafaza eder.

Buraya kadar olan kısımda, başlangıçta sözünü ettiğimiz evrensel self-organizasyon dinamikleriyle bireyleşim arasındaki ilişkiyi organizmanın gelişimi açısından ele almış olduk. Çalışmamızın odak noktası organizma idi, ancak biyolojideki self-organizasyonun dahi organizma ile sınırlı olmadığını kanıtlayabilmek adına, son olarak daha büyük ölçekli yapılardaki dinamiklere ilişkin örneklerle tartışmamızı sonlandıralım. Self-organizasyon ile canlılık arasındaki ilişkinin önemli bir yansıması ekosistem seviyesinde ortaya çıkmaktadır. Organizmanın varlığını mümkün kılan şey ekolojik sürekliliktir. Bu nedenle ekolojik dönüşümle organizmaların evrimi birbirine bağlı bir şekilde gerçekleşmektedir. Örneğin bitkiler ve besinini dışarıdan alan heterotroflar arasındaki ekosistem dengesine bağlı olarak gerçekleşen karbon ve oksijen döngüleri olmaksızın günümüzdeki canlıların büyük bir kısmı hayatta kalamaz. Bu ekolojik denge, sistemik döngüleri belirleyen canlıların evrimiyle paralel olarak zaman içerisinde kurulmuştur. Ekolojik dönüşüm ise yine self-organizasyon ilkelerine ve genel anlamda termodinamiğin yasalarına göre belirlenen enerji çevrimi doğrultusunda gerçekleşmektedir. Self-organizasyona bağlı bireyleşimin dinamikleri ekosistem seviyesinde, popülasyonlarda ve organizmada ayrı ayrı ortaya çıkar. Dolayısıyla self-organizasyonun en alttaki mikro seviyeden makro seviyeye ve küresel ölçeğe değin farklı boyutlarda yinelenen bir olgu olduğu söylenebilir. Bu kapsamda, bir veya birden çok mikroorganizma türünü içeren yapılar olan biyofilmlerin oluşumu, bir hayvan sürüsünün geri-besleme ilişkilerine bağlı grup davranışları veya bir ekosistemdeki yırtıcı-av ilişkilerindeki dönüşümler gibi farklı türdeki olgular self-organizasyon bağlamında ele alınmaktadır. Self-organizasyonun evrensel niteliğini göstermek adına küresel düzeydeki enerji aktarımıyla canlılık arasındaki ilişki örnek verilebilir. Dünya'daki serbest enerjinin kaynağı Güneş'tir. Fotonların sürekli olarak Dünya yüzeyine akması sonucunda, 6000 Kelvin sıcaklığındaki Güneş ile son derece soğuk (3 kelvin) dış uzay arasında bir ısı gradyanı oluşur. Bunun sonucunda üretilen entropinin seviyesi, canlı sistemler doğrudan veya dolaylı olarak güneş enerjisine muhtaç olduğundan

³⁹ Gilbert Simondon, "The position of the problem of ontogenesis", *Parrhesia* 7, sayı 1 (2009): 4-16.

aynı zamanda Dünya'daki ekolojik self-organizasyonun da sınırlarını belirler.⁴⁰ Ototrofların güneş ışığındaki enerjiyi fotosentez yoluyla kimyasal enerjiye dönüştürmesi ve heterotrofların bu enerjiyi bitkilerden elde etmesi sürecinde, yeryüzündeki metabolik aktivitelerin zincirleme bağlantısı sayesinde büyük bir enerji çevrimi gerçekleşir. Bu süreç kozmolojik açıdan Dünya'daki düzenliliğin yerel (kuşkusuz biz insanlara göre küresel, ancak evren içerisinde yerel) olarak artması, yani entropi seviyesinin düşmesi anlamına gelir. Bu anlamda biyosfer küresel düzeyde güneş enerjisini dış kaynak olarak kullanan bir dengeden-uzak sistem oluşturmaktadır. Dolayısıyla, Dünya'daki yerel düzenlilik artışı evrensel düzeydeki (daha spesiki olarak, Dünya'yı çevreleyen koşullardaki) entropi artışına paralel olarak gerçekleşir.

Sonuç

Kaostan kozmosa geçiş, bir bütünün parçaları arasındaki karşılıklı ilişkiler veya homojen bir yapının heterojen bir yapıya dönüşümü temelindeki düşünceler günümüzde self-organizasyon odaklı bilimsel araştırmaların ve buna dayalı bir ontolojinin öncülü niteliğindedir. Bu öncül düşüncelerin self-organizasyon açısından tamamen geçersiz olması söz konusu olmamakla birlikte, self-organizasyonun termodinamik ve morfogenezle ilişkisinin kurulması, bu kavramın bilimsel açıdan daha sağlam bir zemine yerleştirilebilmesini ve bu yolla evrensel ilkelerle yerel organizasyon örüntüleri arasındaki bağlantının kurulabilmesini sağlamıştır.

Fiziksel sistemlerde, organizmanın gelişiminde ve ekosistem dengesinde self-organizasyon belirleyici bir role sahiptir. Self-organizasyonla birlikte gerçekleşen bireyleşim kendi kendini sürdüren yapıların ortaya çıkmasını sağlar. Bu yapılar ise zamanla birikerek daha geniş organizasyon ağları oluştururlar. Self-organizasyon temelli bu evrensel ilke şu şekilde ifade edilebilir: Birey dediğimiz şey verili değildir, ancak bireyleşim sürecinden söz edebiliriz. Simondon'un belirttiği gibi, birey bireyleşimin bir sonucudur, ancak bireyin varlığı aynı zamanda bireyleşim sürecinin de devam etmesi anlamına gelir. Bu makalede, bireyleşim ilkesinin formun sürekliliği ile olan bağlantısından hareketle, maddî süreklilikle birlikte ortaya çıkan formun self-organize sistemlerin ve canlıların ortak bir yönü olduğu savunulmuştur. Self-organizasyonun organizmanın gelişimine nasıl bir etkisi olduğu problemi ve bu probleme yönelik bilimsel çalışmalar bu bağlamda ele alınmıştır. Böylece,

⁴⁰ Feistel ve Ebeling, *Physics of Self-Organization and Evolution*, s. 90.

madde-form ikiliğinin ardında aslında süreçsellik ve belirimin bulunduğunu gösterebildiğimizi ve self-organizasyonun canlılıkla olan ilişkisinin açıklanmasına katkı sunduğumuzu düşünüyoruz. Kuşkusuz bu alandaki bilimsel araştırmalar henüz emekleme aşamasında olmakla birlikte, halihazırdaki ilgili çalışmalar canlılığa ilişkin yeni bir ontolojik yaklaşımın gerekli olduğunu göstermektedir.

KAYNAKÇA

- Bak, Per, Chao Tang, ve Kurt Wiesenfeld. "Self-organized criticality: An explanation of the 1/f noise". *Physical Review Letters* 59, sayı 4 (1987): 381-384.
- Camazine, Scott, J. L. Deneubourg, Nigel R. Franks, James Sneyd, Guy Theraulaz, ve Eric Bonabeau. *Self-organization in Biological Systems*. Princeton: Princeton University Press, 2003.
- Deglincerti, Alessia, Fred Etoc, M. Zeeshan Ozair, ve Ali H. Brivanlou. "Self-organization of spatial patterning in human embryonic stem cells". *Current Topics in Developmental Biology*, 116, (2016): 99-113.
- Driesch, Hans. *The Science and Philosophy of the Organism*. London: Adam and Charles Black, 1908.
- Feistel, Rainer, ve Wemer Ebeling. *Physics of Self-Organization and Evolution*. Weinheim: Wiley, 2011.
- Goodwin, Brian C. "Developing organisms as self-organizing fields". *Self-Organizing Systems: The Emergence of Order*, editör F Eugene Yates içinde, 167-180. New York: Springer US, 1987.
- Goodwin, Brian C. "Problems and paradigms: What are the causes of morphogenesis?" *BioEssays* 3, sayı 1 (1985): 32-36.
- Greenspan, R. J. "The flexible genome". *Nature Review Genetics* 2, sayı 5 (2001): 383-387.
- Huizar, Francisco, Dharsan Soundarrajan, Ramezan Paravitorghabeh, ve Jeremiah Zartman. "Interplay between Morphogen-Directed Positional Information Systems and Physiological Signaling". *Developmental Dynamics: An Official Publication of the American Association of Anatomists* 249, sayı 3 (2020): 328-341.
- Jacobson, Antone G. ve Amy K. Sater. "Features of embryonic induction. *Development*". 104, sayı 3, (1988): 341-359.
- Kant, Immanuel. *Yargı Yetisinin Eleştirisi*. Çeviren Aziz Yardımlı. İstanbul: İdea Yayınevi, 2011.
- Karsenti, Eric. "Self-organization in cell biology: A brief history". *Nature Reviews* 9 (2008): 255-262.
- Lucretius Carus, Titus. *On the Nature of the Universe*. London: Penguin Books, 1994.

- Liu, Lulu, ve Pablo Solis. "The speed and lifetime of cosmic ray muons." *Physics Department, Massachusetts Institute of Technology, Cambridge, MA 2139* (2007).
- McLaughlin, Peter. *What Functions Explain: Functional Explanation and Self-Reproducing Systems*. Cambridge: Cambridge University Press, 2001.
- Mitchell, Sandra D. "Exporting causal knowledge in evolutionary and developmental biology". *Philosophy of Science* 75, sayı 5 (2008): 697–706.
- Morales, J Serrano, Jelena Raspopovic, ve Luciano Marcon. "From embryos to embryoids: How external signals and self-organization drive embryonic development". *Stem Cell Reports* 16, sayı 5 (2021): 1039–1050.
- Moss, Lenny. *What Genes Can't Do*. Cambridge: MIT Press, 2003.
- Newman, Stuart A., ve Gerd B. Müller. "Origination and innovation in the vertebrate limb skeleton: an epigenetic perspective". *Journal of Experimental Zoology Part B: Molecular and Developmental Evolution* 304, sayı 6 (2005): 593–609.
- Prigogine, Ilya, ve Isabelle Stengers. *Order Out of Chaos: Man's New Dialogue with Nature*. London: Verso, 2017.
- Prokopenko, Mikhail. "Guided self-organization". *HFSP Journal* 3, sayı 5 (2009): 287–289.
- Schrödinger, E. *What Is Life? The Physical Aspect of the Living Cell*. Cambridge: Cambridge University Press, 2012.
- Simondon, Gilbert. "The genesis of the individual". *Incorporations* 6 (1992): 296–319.
- Simondon, Gilbert. "The position of the problem of ontogenesis". *Parrhesia* 7, sayı 1 (2009): 4–16.
- Spencer, Herbert. "Progress: Its law and cause". *Essays: Scientific, Political, and Speculative* içinde, 1: 8–62. London: Williams and Norgate, 1891.
- Swenson, Rod. "Spontaneous order, evolution, and autotakinetics: The nomological basis for the emergence of meaning". *Evolutionary Systems: Biological and Epistemological Perspectives on Selection and Self-Organization* içinde, 155–180. Dordrecht: Springer, 2013.
- Turing, Alan M. "The chemical basis of morphogenesis". *Philosophical Transactions of the Royal Society of London. Series B, Biological Sciences*

237, sayı 641 (1952): 37-72.

Vogg M. C, Galliot B, ve C. D. Tsiairis. "Model systems for regeneration: *Hydra*".
Development 146, sayı 21 (2019).

Wolpert, Lewis. "The French flag problem: A contribution to the discussion on
pattern development and regulation". *Towards a Theoretical Biology*,
içinde, 125-133. Edinburgh: Edinburgh University Press, 1968.

Wright, Larry (1973). Functions. *The Philosophical Review*, 82, sayı 2 (1973):
139-168.