

Systems Thinking Approach in Science Education

Rıdvan ELMAS¹, Harika Özge ARSLAN², Savaş PAMUK³, Haki PEŞMAN⁴, Mustafa SÖZBİLİR⁵

¹ Afyon Kocatepe University, Faculty of Education, relmas@aku.edu.tr,
<https://orcid.org/0000-0001-7769-2525>

² Duzce University, Faculty of Education, harikaarslan@duzce.edu.tr,
<https://orcid.org/0000-0003-1620-6559>

³ Akdeniz University, Faculty of Education, savaspamuk@akdeniz.edu.tr,
<https://orcid.org/0000-0001-8661-4262>

⁴ Fırat University, Faculty of Education, haki@firat.edu.tr,
<https://orcid.org/0000-0003-4778-2735>

⁵ Atatürk University, Faculty of Education, sozbilir@atauni.edu.tr,
<https://orcid.org/0000-0001-6334-9080>

Received: 01.03.2021

Accepted: 24.03.2021

Doi: <https://doi.org/10.37995/jotcsc.889340>.

Abstract:

Currently, humans are faced with severe ecological and social problems. The complex nature of these problems (climate change, water crisis, social and economic injustices etc.) creates an issue regarding how to approach these problems. Obviously, these problems are challenging to solve with a single discipline, but a holistic perspective is necessary. It is a serious situation with which skills individuals should be raised in order to solve these problems. Different educational approaches have come to the fore and are aimed to achieve these skills. Within this study's scope, the systems thinking approach's potential to be one of the innovative approaches suitable for these problems is emphasized. In this context, based on the existing literature, the definition of the systems thinking approach, its short historical development, the skills that can be evaluated within this scope and how these skills can be developed are explained. The relationship between the STEM education approach and context-based learning approach, and systems thinking approach was briefly discussed in the conclusion part. Authors think it will be valuable and explanatory for researchers who wonder what the systems thinking approach is and what skills it is associated with.

Keywords: System, systems thinking, systems thinking skills, STEM education approach, context-based learning approach

EXTENDED SUMMARY

Introduction

The fragmentary structural weakness of educational programs and the complex nature of the problems we face in our era also leave our students in a weak position regarding the solution to these problems (Logan, 2020; Nagarajan & Overton, 2019). These complex problems usually require a holistic perspective (Karaarslan Semiz & Teksöz, 2020). Until today, significant developments have been made in science due to the division of science into many disciplines, even many sub-disciplines. Science has progressed and gained momentum thanks to many experts trained in these various disciplines and sub-disciplines. Today, a holistic approach is required for the complex structure and solution of the problems we encounter.

This study aims to introduce the systems thinking approach to science researchers and those interested, emphasizing the systems thinking approach's potential to be one of the innovative approaches suitable for solving these complex problems. For this purpose, the literature was analyzed and synthesized depending on the search for meaningful explanations. The definition of the systems thinking approach, its brief historical development, the skills required to become a systems thinker and some studies to develop these skills were used.

What is Systems Thinking?

In its simplest definition, systems thinking can be expressed as a broad perspective that considers all aspects, parts and the relations of parts while focusing on a problem (Senge, 2006). Ben-Zvi Assaraf and Orion (2005) defined the system as a structure that maintains its existence and functions through all its parts' interactions. In other words, it will not be wrong to conclude that knowing the parts that make up a system is not enough to understand it as a whole. It is possible to derive this point of view from three basic features emphasized by Arnold and Wade (2015) for systems. These; (1) It has a part-whole relationship, (2) has relationships between parts, and (3) has a purpose.

In a definition made by Batzri et al. (2015), it is expressed as the ability to understand and interpret systems' properties and behavior in depth. Richmond (1994) defined systems thinking as the art and science of making reliable inferences about the system's behavior to understand the system in depth. This and many other definitions are available in the literature (e.g., Kopainsky et al., 2011); Stave & Hopper, 2007; Sweeney & Sterman, 2000). Arnold and Wade (2015) stated that a commonly accepted and complete definition of systems thinking was not made, and after examining many definitions of systems thinking, they proposed a new definition. According to this;

“Systems thinking is a set of analytical skills used to develop the ability to define systems, understand and predict their behavior, and make changes to the system to produce desired effects. These skills work together as a system” (p. 675).

Systems thinking progresses on three primary features (Evagorou et al., 2009).

1. Demonstration of special and general relationships between parts of the system
2. Determining the dynamic behavior of the system that changes over time
3. Examining how system-level events arise from interactions between parts of the system.

Some characteristic features of the systems thinking approach are essential in the application (Ben-Zvi Assaraf & Orion, 2005; Ben-Zvi Assaraf & Orion, 2010; Orgill et al., 2019). Understanding these characteristics is critical to systems thinking. These features, which are considered in different studies, have been compiled as follows:

1. Considering the system as a whole
2. Understanding that the operation of the system can change over time
3. Understanding the variables that cause the system to function
4. Understanding the organization and relationships of the parts within the system
5. Determining what kind of organization and relationship exists between the parts for the functioning at the system level.
6. Understanding the cyclic structure of the system
7. Revealing the implicit relationships and functioning of the system in the process
8. Understanding how the system relates to its environment.

Systems Thinking Skills and the Development of These Skills

Systems take us from order, or in other words, from the world of orderly knowledge that we are used to being presented, and drag us into chaos. Because systems are inherently complex and dynamic, logical and straightforward explanations can help us understand them. At this point, the challenge of systems is to discover simplicity in complexity (Boardman & Sauser, 2008).

Barry Richmond (1993; 1997), one of the researchers who first used the term systems thinking, and a systems scientist, defined seven systems thinking skills. These;

1. Dynamic thinking: To examine how the behavior of a system changes over time
2. System-as-cause thinking: To consider the causes of system behavior
3. Forest thinking: To consider system behavior as a whole

4. Operational thinking: Focusing on the variables in a system and how they cause a change in the system's behavior.
5. Closed-loop thinking: To consider the cyclical effect of system-related variables on each other.
6. Quantitative thinking: Examining the relative effects of system variables as opposed to their absolute effects
7. Scientific thinking: Testing models and hypotheses about the behavior of a system

These skills are based not only on understanding the system but also on predicting the behavior of complex and complex systems. Similar skills are involved in other studies. For example, Sweeney and Sterman (2000) grouped systems thinking skills under six headings.

1. To be able to understand the behavior of the system from the interaction of the elements of the system over time (understanding dynamic complexity)
2. To be able to explore the feedback processes (both positive and negative) that underlie observed system behavior.
3. To be able to determine the stock (the total of existing assets) and flow relationships.
4. To be able to define delays and understand their effects.
5. To be able to understand nonlinear relationships.
6. To be able to recognize the limits of mental (and formal) models and to be able to challenge them.

Efforts to provide students with systems thinking skills date back to the 1960s. Forrester (1968) created "system dynamics" in computer modeling of systems thinking to understand complex phenomena of time. He has developed simulations and computer-aided models based on the concept of "change," representing the complex relationships between variables. Mandinach (1989) and Steed (1992) reported that STELLA (Structural Thinking Experimental Learning Laboratory with Animation), which is computer software, contributes to determining the relationships between system operation and its parts. Therefore, these studies examine system dynamics; in other words, it is the work done to improve the understanding of the relationships between the elements that make up a system and how they affect the whole system. Besides, Mandinach (1989) reported his project named STACI (Systems Thinking and Curricular Innovation). STELLA simulation-modeling software was used to improve the field-specific knowledge and problem-solving skills of high school students.

Discussion and Conclusion

The systems thinking approach can be evaluated in terms of its relationship with the STEM education approach, one of the current approaches. A product is created by entering a design process with the theoretical framework of the engineering design process used in the STEM education approach (Moore et al., 2013). It can be clearly said that the STEM education approach is product, process and design-oriented (Aranda et al., 2020). The STEM education approach uses a need-to-know basis to learn concepts with applications (Kelley & Knowles, 2016). In other words, rather than direct concept learning, there is concept learning as needed (Aranda et al., 2020). Beyond this part, systems thinking looks at the process from a broader perspective in terms of emphasizing the place of products in the system, their role and their relationship with the whole (Mahaffy, Krief, Hopf, Mehta & Matlin, 2018). Besides, there is not necessarily a concern of matching concepts with one application at a time in system thinking.

Another difference between the STEM education approach and the systems thinking approach is the use of multiple contexts (Elmas, 2020). What is meant by the use of multiple contexts is to present the information about science to the student in a learning environment designed using multiple contexts to understand the whole system. There is product development in the STEM education approach through the design made for the problem's solution, usually set up in a single context. In the systems thinking approach, a subject is evaluated in different dimensions using very different contexts (For example, Orgill et al., 2019).

It is clear that contexts will be used in the systems thinking approach. Still, unlike the routine applications of the context-based approach, systems thinking requires the use of multiple contexts, as it deals with integrating an event (Elmas, 2020; Orgill et al., 2019; Gilissen et al., 2020). As a current example of this, the study in which system thinking and context-based approach are used together can be given as an example (Armstrong & Poë, 2020). In the related study, the integrative feature of system thinking was presented to the student using a context-based approach. Also, it is seen that systems thinking takes a more holistic view of the process and progresses by addressing different dimensions due to the effort to understand the system. The systems thinking approach can also be used in areas such as social sciences and economics (Davidsen et al., 1993; Zaraza, 1995).

Fen Eğitiminde Sistemsel Düşünme Yaklaşımı

Rıdvan ELMAS¹, Harika Özge ARSLAN², Savaş PAMUK³, Haki PEŞMAN⁴, Mustafa SÖZBİLİR⁵

¹ Afyon Kocatepe Üniversitesi, Eğitim Fakültesi, relmas@aku.edu.tr,
<https://orcid.org/0000-0001-7769-2525>

² Düzce Üniversitesi, Eğitim Fakültesi, harikaarslan@duzce.edu.tr,
<https://orcid.org/0000-0003-1620-6559>

³ Akdeniz Üniversitesi, Eğitim Fakültesi, savaspamuk@akdeniz.edu.tr,
<https://orcid.org/0000-0001-8661-4262>

⁴ Fırat Üniversitesi, Eğitim Fakültesi, haki@firat.edu.tr,
<https://orcid.org/0000-0003-4778-2735>

⁵ Atatürk Üniversitesi, Eğitim Fakültesi, sozbilir@atauni.edu.tr,
<https://orcid.org/0000-0001-6334-9080>

Gönderme Tarihi: 01.03.2021

Kabul Tarihi: 24.03.2021

Doi: <https://doi.org/10.37995/jotcsc.889340>.

Özet:

Günümüzde ekolojik ve toplumsal alan ile ilgili ciddi sorunlar ile karşı karşıya kalmış durumdayız. İklim değişikliği, su krizi, sosyal ve ekonomik adaletsizlikler gibi sorunların karmaşık yapısı bu sorunlara nasıl yaklaşılması gerektiği ile ilgili belirsizliklere neden olmaktadır. Çünkü söz konusu sorunların tek bir disiplin bağlamında çözümü zordur; bu sorunların çözümü için bütüncül bir bakış açısının gerekli olduğu aşikârdır. Sorunların çözülebilmesi için bireylerin hangi beceriler kapsamında yetiştirilmesi gerektiği önemli bir husustur. Bireylere bu becerileri kazandırabilmek için farklı eğitim yaklaşımları gündeme gelmiştir ve kullanılmaktadır. Bu çalışma kapsamında, sistemsel düşünme yaklaşımının ekolojik ve toplumsal konularda karşılaşılan sorunların çözümü için yenilikçi yaklaşımlardan biri olma potansiyeli üzerinde durulmuştur. Bu kapsamda, var olan alanyazına dayanılarak sistemsel düşünme yaklaşımının tanımı, kısa tarihsel gelişimi, bu kapsam da değerlendirilebilecek olan beceriler ve bu becerilerin nasıl geliştirilebileceği açıklanmıştır. Ayrıca, STEM eğitimi yaklaşımı ve bağlam temelli öğrenme yaklaşımı ile sistemsel düşünme yaklaşımının ilişkisi de çalışma kapsamında kısaca ele alınmıştır. Çalışmanın; sistemsel düşünme yaklaşımının ne olduğunu ve hangi beceriler ile ilişkilendirildiğini merak eden araştırmacılar için faydalı ve yol gösterici olacağı, alanyazın birikimine katkı sağlayacağı düşünülmektedir.

Anahtar kelimeler: Sistem, sistemsel düşünme, sistemsel düşünme becerileri, STEM eğitimi yaklaşımı, bağlam temelli öğrenme yaklaşımı

Sorumlu yazar: Savaş Pamuk, Eğitim Fakültesi, Akdeniz Üniversitesi, savaspamuk@akdeniz.edu.tr

GİRİŞ

Değişen koşullara ve hızlı teknolojik gelişmelere ayak uydurma çabası, günümüzde bütün ülkelerin karşı karşıya olduğu bir durumdur. Eğitim sistemlerinin bu değişime yeterince hızlı tepki veremediği açıktır. Sistemdeki paydaş sayısının fazla olması bu adaptasyon

sürecini zorlaştıran etmenlerin başında gelmektedir. Eğitim sistemleri bu değişim ve dönüşümlerden farklı şekillerde etkilenmektedir. Öğretim programlarını değiştirmek veya yeni eğitim öğretim yaklaşımları ortaya koymak, değişim ve dönüşüm sürecinin eğitim sistemi üzerindeki etkisi olarak değerlendirilmektedir (García-Carmona, 2020).

Değişim ve dönüşüm sürecine adaptasyon amacıyla geliştirilen fen, fizik, kimya ve biyoloji programları incelendiğinde çok paydaşlı geliştirme sürecinin de ötesinde göz ardı edilen yapısal sorunlar olduğu söylenebilir (Elmas vd., 2014). Özellikle fen alanlarına ait öğretim programlarının parçalı kavramsal yapısı ve öğrencilerin bu kavramsal parçalı yapıdan bütünsel zihinsel bir şema oluşturabileceğine olan inanç, program geliştiricilerin önemli bir varsayımı olarak karşımıza çıkmaktadır (Mahaffy vd., 2018). Öğrencilerin, bu parçalı kavramsal yapıdan kendi zihinlerinde bütünsel bir bakış açısı geliştirmesi, sistemde sıkıntılı bir süreç olarak belirgin bir şekilde görülmektedir (Gould-Kreutzer, 1993). Ayrıca öğrencilerin bütün kavramsal parçaların birbiriyle ilişkisini anlaması beklenmekte ve onların zihinlerinde bir sistemsel bütün oluşturduğu düşünülerek ölçme değerlendirme süreçleri de buna göre planlanmaktadır.

Eğitim programlarının bu parçalı yapı zafiyetine ek olarak çağımızda yüzleştiğimiz problemlerin karmaşık yapısı da öğrencilerimizi bu problemlerin çözümü ile ilgili zayıf bir durumda bırakmaktadır (Logan, 2020; Nagarajan & Overton, 2019). Bu karmaşık problemlerin çözümü genellikle disiplinler üstü bir perspektif gerektirmektedir (Karaarslan Semiz & Teksöz, 2020). Bugüne kadar fen bilimlerinin birçok disipline hatta çok sayıda alt disipline ayrılması neticesinde bilimde önemli gelişmeler kaydedilmiştir. Çeşitli disiplin ve alt disiplinlerde yetişen birçok uzman sayesinde bilim ilerlemiş ve ivme kazanmıştır. Günümüzde gelinen noktada ise karşılaştığımız problemlerin karmaşık yapısının çözümü için bütüncül bir yaklaşım gerekmektedir. Örneğin; sürdürülebilir bir yaşam sürmeyi hedeflediğimizde geri dönüşümden iklime, tüketim alışkanlıklarımızdan kaynakları doğru kullanmaya ve benzeri birçok faktörü birlikte ele almamız gerekmektedir. Öyle ki, sürdürülebilirlik konusu Birleşmiş Milletler tarafından da üzerinde önemle durulan, 17 amaç ve 169 hedef belirlenerek 2030 yılına kadar çalışılması hedeflenen küresel bir süreç olarak görülmektedir (UNDP Türkiye, 2021). Benzer şekilde Dünya'nın gezegensel sınırı tanımları da sürdürülebilirlik hedefleri kapsamında değerlendirilen karmaşık ilişkileri içeren süreçleri barındırmaktadır (The nine planetary boundaries). İklim değişikliği, nesli tükenen hayvanlar vb. konuları ele almada, sürdürülebilirlik bağlamında bütüncül bir bakış açısına ihtiyacımız olduğu açıktır (Mahaffy vd., 2019). Bu gibi konularda kararlar alacak olan sorumlu kişilerin de bütüncül bir bakış açısına sahip olması toplumlar için ciddi bir avantaj sağlayacaktır. Örneğin COVID-19 salgını sürecinde birçok farklı ülkede farklı yöneticiler farklı tepkiler vermiştir. Bütün sistemi girdi, çıktı ve etkileşimleri ile bütüncül olarak ele almadan verilen kararlar, küresel salgın sürecinde bazı ülkelerde çok ciddi krizlerin yaşanmasına sebep olmuştur. Bu örneklerden hareketle, günümüzde

süreçlerin bütünsel ve sistemsel olarak yetkin bir şekilde değerlendirilmesinin önem arz ettiği söylenebilir.

Bilim felsefesinin sıklıkla tartışılan konularından olan indirgemeci yaklaşım, bilimin ilerlemesinde sorunlar arasında neden-sonuç ilişkisinin kurulmasına ve Dünya'nın doğrusal bir düzlemde ilerlediği varsayımına dayanmaktadır. Bu yaklaşımın uzun bir süre işe yaradığını da kabul etmek gerekir. Çünkü problemler küçük parçalara bölündüğünde, her bir parçayı anlamak için çabalamak, bir bakıma bütünü kavramış hissiyatını yaşatabilir. Ancak her zaman parçaları birleştirerek bir bütün elde edilememektedir. Mesela bu şekilde canlıları anlamaya çalışmak muhtemelen çok yetersiz açıklamalara neden olacaktır. Benzer şekilde bir hikâyedeki farklı kahramanları tanımak ve hikâyede geçen olayları ayrı ayrı bilmek hikâyenin tamamının anlaşılması için yeterli olmayacaktır (Zaraza, 1995). Altı kör adamın bir filin neye benzediğini anlamak için kulaklarına, bacaklarına, hortumuna, kuyruğuna, dişlerine ve gövdesine dokunması sonrasında her birinin fil ile ilgili farklı çıkarımlarda (Filin bacağına dokunanın fili bir sütun gibi zannetmesi vb.) bulunması hikâyesi birçoğumuz tarafından duyulmuştur. Benzer bir şekilde insanın bütün organları tek tek öğrenilebilir ancak bütünün işleyişi her bir uzvun işleyişinin ötesinde anlamlar ifade eder. Diğer bir örnek neredeyse herkes tarafından bilinen bir teknoloji şirketinden verilebilir. Boardman ve Sauser (2008), Google firmasının kuruluş ve gelişim sürecini detaylı bir şekilde analiz etmiş ve kurucuların sistemsel düşünceye sahip olmasının şirketin bugünlere gelmesinde önemli bir etken olduğunu ifade etmişlerdir. Günümüz dünyasında karmaşık problemler ile mücadele etmeye başlıyor olmamız, bu indirgemeci yaklaşımın yavaş yavaş yetersiz kaldığı konusunda zihnimizde daha çok soru işareti oluşmasına neden olmaktadır.

Bu çalışmanın amacı, sistemsel düşünme yaklaşımının bu problemlerin çözümü için uygun olan yenilikçi yaklaşımlardan biri olma potansiyeli üzerinde durmak; böylelikle fen araştırmacılarına ve ilgilenenlere yaklaşımı tanıtmaktır. Bu amaçla alanyazın incelemesi yapılmış ve sistemsel düşünme yaklaşımının tanımı, kısa tarihsel gelişimi, sistemsel düşünür olabilmek için gerekli beceriler ve bu becerileri geliştirmek için yürütülmüş bazı çalışmalar açıklanmıştır.

Sistemsel Düşünme Nedir?

Giriş bölümünde söz edilen problemlere farklı bir bakış açısıyla çözüm olabilecek yaklaşımlardan birisi sistemsel düşünme yaklaşımıdır. Sistemsel düşünme, en basit tanımı ile bir probleme odaklanırken tüm yönleri, parçaları ve parçaların birbirleri ile ilişkilerini ele alan geniş bir bakış açısı olarak ifade edilebilir (Senge, 2006). "Systems Thinking" teriminin Türkçe karşılığı olarak kullanılan "Sistemsel Düşünme" terimi, bu

kullanımının (Karaaslan-Semiz & Teksöz, 2019) dışında ulusal bazı çalışmalarda "Sistem Düşüncesi" (Şenaras & Sezen, 2018; Tecim, 2004) olarak da kullanılmıştır. Ancak sistemsel düşünmenin alanyazında bir beceriler bütünü (Ben-Zvi Assaraf & Orion, 2005) olarak ele alındığı düşünülürse bu becerilerin ifade ediliş şekli açısından "Sistem Düşüncesi Becerileri" yerine "Sistemsel Düşünme Becerileri" kullanımının daha uygun olduğu ortaya çıkmaktadır. Bu nedenle, bu çalışmada uluslararası alanyazında "Systems Thinking" olarak kullanılan teriminin karşılığı olarak "Sistemsel Düşünme" terimi tercih edilmiştir.

Ben-Zvi Assaraf ve Orion (2005), sistemi, bir bütün olarak kendisini oluşturan tüm parçaların etkileşimleri üzerinden varlığını devam ettiren ve işleyen bir yapı olarak tanımlamışlardır. Birbirine bağımlı bu parçalar grubu belirli bir amaç dâhilinde bir bütün olarak işlevini yürütür. Öte yandan Meadows (2008), parçaların bir araya gelerek oluşturduğu sistemin, parçaların tamamından fazla olduğunu vurgulamıştır. Yani bir sistemi anlamak için onu oluşturan parçaları bilmenin yeterli olmadığı çıkarımı yanlış olmayacaktır. Bu bakış açısını Arnold ve Wade (2015)'in sistemler için vurguladığı üç temel özellikten de çıkarmak mümkündür. Bunlar; (1) parça-bütün ilişkisi olması, (2) parçalar arası ilişkiler olması ve (3) bir amacının olmasıdır. Bu perspektiften bakıldığında da her bir parça grubunu bir problem olarak tek başına ele almak sistemi anlamak için yeterli olmayacaktır.

Sistemsel düşünme yaklaşımının tarihsel gelişimi incelendiğinde de benzer bir çıkış noktası dikkat çekmektedir. Özellikle doğası gereği sistem düşüncesi ile yakından ilişkili olan biyoloji alanında yapılan çalışmalarda parçalı bakış açısının canlı sistemlerini anlamada yeterli olmadığı fikri, sistemsel düşünme yaklaşımının temel taşı olarak görülebilir. Avustralyalı biyolog Ludwig von Bertalanffy, indirgemeci yaklaşımın parçalı bakış açısının biyolojiye uymadığını fark etmiştir. Çünkü ona göre bir canlıyı bütüncül olarak anlamak için sadece parçaları bilmek yetmeyecektir. Her bir parça bireysel işlevi dışında sistem içinde farklı roller alabilmektedir. Bertalanffy, bu fikirlerini 1937 yılında Genel Sistem Teorisi ismi ile açıklamış ve alanda özellikle sistemler üzerine çalışan bilim insanlarının dikkatini çekmiştir. Temeli 1900'lü yılların başlarına dayanan sistemsel düşünme yaklaşımı, birçok araştırmacı tarafından farklı şekillerde tanımlanmıştır. Forrester (1994), net bir tanımının olmadığını ifade etse de sistemsel düşünmenin sistemler hakkında düşünmekten, onlar hakkında konuşmaktan ve önemli olduklarını kabul etmekten biraz daha fazlasını ifade ettiğini belirtmiştir. Forrester, bu ifadeden yola çıkarak sistemsel düşünmenin, sistemler hakkında genel ve yüzeysel bir farkındalığı temsil ettiğini vurgulamıştır. Orgill vd. (2019) ise sistemsel düşünmeyi, "karmaşık davranışları ve olayları daha bütünsel bir bakış açısıyla inceleyen bir yaklaşım" (s. 2720) olarak tanımlamışlardır. Batzri vd. (2015) tarafından yapılan bir tanımda ise sistemlerin özelliklerini ve davranışını derinlemesine anlama ve yorumlama becerisi olarak ifade

edilmiştir. Richmond (1994), sistemsel düşünmeyi, sistemi derinlemesine anlayabilme açısından sistemin davranışı hakkında güvenilir çıkarımlar yapma sanatı ve bilimi olarak tanımlamıştır. Bu ve bunun gibi birçok tanım alanyazında bulunmaktadır (Kopainsky vd., 2011; Senge, 1990; Squires vd., 2011; Stave & Hopper, 2007; Sweeney & Sterman, 2000). Arnold ve Wade (2015), ortak kabul gören ve tam bir sistemsel düşünme tanımının yapılmadığını belirtmiş ve birçok sistemsel düşünme tanımı inceledikten sonra yeni bir tanım önermişlerdir. Buna göre;

“Sistemsel düşünme; sistemleri tanımlama, anlama, davranışlarını tahmin etme ve istedik etkileri üretmek için sistemde değişiklikler yapma yeteneğini geliştirmek için kullanılan bir dizi analitik beceridir. Bu beceriler bir sistem olarak birlikte çalışır” (s. 675).

Sistemsel düşünme, üç temel özellik üzerinden ilerler (Evagorou vd., 2009).

1. Sistemin parçaları arasındaki özel ve genel ilişkilerin gösterilmesi
2. Sistemin zamanla değişen dinamik davranışlarının belirlenmesi
3. Sistem düzeyindeki olayların, sistemin parçaları arasındaki etkileşimlerden nasıl ortaya çıktığının incelenmesi

Bu üç özellik temelinde sistemsel düşünme yaklaşımı kullanılırken iki farklı şekilde ele alınması mümkün olmaktadır: İşlev temelli (function-oriented) ve yapı temelli (structure-oriented) (Liu & Hmelo-Silver, 2009; Pazicni & Flynn, 2019). İşlev temellide sistemsel düşünme, sistemin görevleri ve işleyişi üzerine vurgu yaparak başlar ve ilerler. Yapı temellide ise sistemsel düşünme, sistemin yapısı ve parça-bütün ilişkisi vurgusunu önde tutar.

Sistemsel düşünme yaklaşımında bazı karakteristik özellikler, bu yaklaşımın uygulanması açısından oldukça önemlidir (Ben-Zvi Assaraf & Orion, 2005; Ben-Zvi Assaraf & Orion, 2010; Orgill vd., 2019). Bu karakteristik özelliklerin anlaşılması sistemsel düşünme açısından kritik bir önem arz etmektedir. Farklı çalışmalarda ele alınan bu özellikler aşağıda belirtilmiştir:

1. Sistemin bir bütün olarak ele alınması
2. Sistemin işleyişinin zaman içinde değişebilir olduğunun anlaşılması
3. Sistemin işleyişine neden olan değişkenlerin anlaşılması
4. Sistem içindeki parçaların organizasyonunun ve ilişkilerinin anlaşılması
5. Sistem düzeyinde işleyişin gerçekleşmesi için parçalar arasında nasıl bir organizasyon ve ilişki mevcut olduğunun belirlenmesi
6. Sistemin döngüsel yapısının anlaşılması

7. Sistemdeki örtük ilişkilerin ve işleyişin süreç içerisinde ortaya çıkarılması

8. Sistemin çevresi ile nasıl bir ilişki içinde olduğunun anlaşılması

Bu karakteristik özellikler sistemsel düşünme yaklaşımının uygulanması açısından önemlidir. Ponto ve Linder (2011) tarafından hazırlanan öğretmen kılavuz kitabında sistemsel düşünme basit bir örnek ile şu şekilde açıklanmıştır: Bir çayır ekosisteminde tilkiler ve tavşanlar yaşamaktadır. Tilki tavşanları avlayarak beslediği için tavşan sayısı arttıkça tilki sayısı da artmaktadır. Burada değişkenler arasındaki ilişki zaman içerisinde değişiklik göstermektedir. Örneğin yaşanabilecek bir kuraklıktan dolayı tavşan sayısı azalır, tilki sayısı da azalmaktadır. Bu basit parça ve ilişki ağı bir sistemdir. Bu basit sistem, bulunduğu çayır ekosisteminin küçük bir parçası olmakla birlikte daha büyük sistemlerle de ilişki içerisindedir. Hem büyük sistemlerden etkilenmekte hem de onları etkilemektedir. Bu yapıyı bütünüyle anlayabilmek kolay olmamakla birlikte birçok araştırmada bu yaklaşım bir grup beceriyle ilişkilendirilmiştir (Arnold & Wade, 2017; Ben-Zvi Assaraf & Orion, 2005; Ben-Zvi Assaraf & Orion, 2010; Richmond 1993; 1997; Sweeney & Stermann, 2000). Bu becerilere sistemsel düşünme becerileri adı verilmektedir.

Sistemsel Düşünme Becerileri

Sistemler, bizi düzenden başka bir ifadeyle bize sunulmasına alışık olduğumuz düzenli bilgi dünyasından alıp karmaşaya sürükler. Çünkü sistemler doğası gereği karmaşık ve dinamik davranışlar sergiler; buna rağmen mantıklı ve basit açıklamalar sistemleri anlamamızı sağlayabilir. Bu noktada sistemlerin zorluğu, karmaşıklıkta basitliği keşfetmektir (Boardman & Sauser, 2008). Bu nedenle sistemsel düşünür olabilmek için çeşitli beceriler gerekir. Sistemsel düşünme becerileri adı verilen bu beceriler üst düzey düşünme becerileri arasında yer almaktadır. Sistemin değişkenleri arasında var olan ilişkileri daha iyi anlamak için kavramları bir bütün hâlinde inceleyen ve insanların karmaşık problemleri anlayıp çözmelerine yardımcı olan bir eleştirel düşünme türüdür (Ritchie, 2017). Bu bağlamda günümüzde sistemsel düşünme becerilerinin gerekliliğini tartışmak anlamsız olacaktır. Fakat bu becerilerin neler olması gerektiği tartışılabilir.

Alanyazında bu becerilerin neler olması gerektiği ile ilgili bir fikir birliği olmadığı daha önce ifade edilmiştir (Arnold & Wade, 2015; Orgill vd., 2019). Sistemsel düşünme terimini ilk kullanan araştırmacılardan birisi ve bir sistem bilimci olan Barry Richmond (1993, 1997) yedi sistemsel düşünme becerisi tanımlamıştır:

1. Dinamik Düşünme (Dynamic thinking): Bir sistemin davranışının zaman içinde nasıl değiştiğini incelemek
2. Nedensel Düşünme (System-as-cause thinking): Sistem davranışının nedenlerini dikkate almak

3. Bütüncül Düşünme (Forest thinking): Sistem davranışını bir bütün olarak ele almak
4. İşlevsel Düşünme (Operational thinking): Bir sistemdeki değişkenlere ve bu değişkenlerin sistemin davranışında nasıl bir değişikliğe neden olduğuna odaklanmak
5. Döngüsel Düşünme (Closed-loop thinking): Sistemle ilgili değişkenlerin birbirleri üzerindeki döngüsel etkisini dikkate almak
6. Nicel Düşünme (Quantitative thinking): Sistem değişkenlerinin mutlak etkilerinin aksine, göreceli etkilerinin incelenmesi
7. Bilimsel Düşünme (Scientific thinking): Bir sistemin davranışıyla ilgili modellerin ve hipotezlerin test edilmesi

Richmond, 1985-2000 yılları arasında birçok kez basılan "Sistemsel Düşünmeye Giriş" isimli kitabında bu becerileri okul öncesinden lise düzeyine kadar her seviyeden öğrenci ve öğretmene kazandırmayı hedef alan bir yazılımı (STELLA) tanıtmıştır. Richmond tarafından tanımlanan bu yedi sistemsel düşünme becerisi birçok bilimsel çalışmada kullanılmıştır (Ben-Zvi Assaraf & Orion, 2005; Maani & Maharaj, 2004; Stave & Hopper, 2007).

Bu beceriler yalnızca sistemi anlamaya değil aynı zamanda karmaşık sistemlerin eylemlerini tahmin etmeye de dayanmaktadır. Benzer beceriler başka çalışmalarda da yer almaktadır. Örneğin Sweeney ve Sterman (2000), sistemsel düşünme becerilerini altı başlık altında toplamıştır:

1. Sistemin elemanlarının zaman içindeki etkileşiminden sistemin eylemlerini anlayabilmek (dinamik karmaşıklığı anlamak),
2. Gözlenen sistem davranışlarının altında yatan geri bildirim süreçlerini (hem olumlu hem de olumsuz) keşfedebilmek,
3. Stok (mevcut varlıklar bütünü) ve akış ilişkilerini belirleyebilmek,
4. Gecikmeleri tanımlayıp etkilerini anlayabilmek,
5. Doğrusal olmayan ilişkileri anlayabilmek,
6. Zihinsel (ve biçimsel) modellerin sınırlarını fark edebilmek ve bunlara meydan okuyabilmek.

Arnold ve Wade (2017) ise geliştirdikleri sistemsel düşünme tanımı çerçevesinde ve daha önce başka araştırmacılar tarafından önerilmiş olan dört farklı sınıflamadan yararlanarak sistemsel düşünme becerilerinin dört temel alana bölünmesini önermiştir. Bu dört alan ve ilgili sistemsel düşünme becerileri Tablo 1'de belirtilmiştir.

Tablo 1

Sistemsel Düşünme Beceri Alanları ve Beceriler

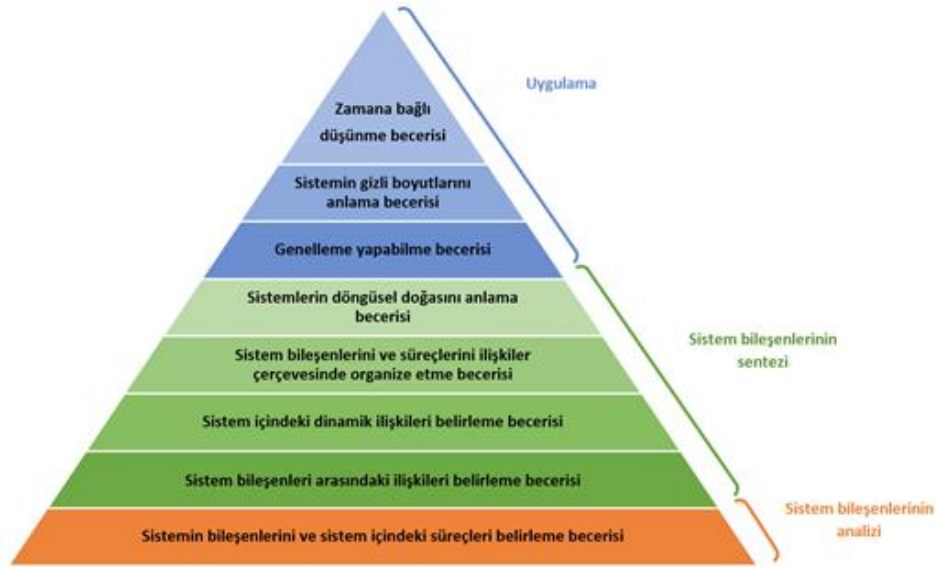
Beceri Alanı	Beceriler
1. Mantıksal yapı - Sistemik problemlere nasıl yaklaşılır?	1.1 Birden çok perspektifi keşfetme 1.2 Bütünü ve parçaları düşünme 1.3 Belirsizliğe etkili şekilde yanıt verme 1.4 Durumu uygun şekilde değerlendirme 1.5 Zihinsel modelleme ve soyutlamaları kullanma
2. İçerik - Sistemde neler var?	2.1 Sistemleri tanıma 2.2 Sistem sınırlarını bilme 2.3 Sistem elemanlarını farklılaştırma ve ölçme
3. Yapı - Sistem nasıl organize edilir?	3.1 İlişkileri tanımlama 3.2 İlişkilerin ayırt edici özelliklerini belirleme 3.3 Geri bildirim döngülerini tanımlama 3.4 Geri bildirim döngülerinin ayırt edici özelliklerini belirleme
4. Davranış - İçerik ve yapı etkileşime girdiğinde ne olur?	4.1 Geçmiş sistem davranışını tanımlama 4.2 Gelecekteki sistem davranışını tahmin etme 4.3 Zaman içindeki değişikliklere yanıt verme 4.4 Etki oluşturmak için gerekli noktaları kullanma

Not. Arnold & Wade, 2017, s.11' den alınmıştır.

Araştırmacılar, aynı zamanda her bir beceri için düşükten yükseğe doğru beş seviyeden meydana gelen gelişim basamakları oluşturmuşlardır. Bu gelişim basamaklarında bireylerde olması gereken özellikler tek tek tanımlanmıştır. Sistemsel düşünme becerileri ile sistemsel düşünebilen bireylerin sahip oldukları çeşitli bilişsel özelliklerin birbirine karıştırılmaması gerektiğine vurgu yapmışlardır.

Genel olarak bakıldığında farklı araştırmacıların tanımladığı sistemsel düşünme becerilerinin bazı noktalarda örtüştükleri görülebilir. Özellikle sistem davranışını anlama ve yorumlama becerilerinin, sistemin elemanları arasındaki ilişkileri kavramaktan geçtiği açıktır. Sistemsel düşünme becerileri ile karar verme becerilerinin ilişkisinin araştırıldığı bir çalışmada, sistem aktivitesi uygulanan öğrencilerden yüksek başarı gösteren öğrencilerin öncelikle sistemin yapısı ile ilgili anlama becerilerini, daha sonra geliştirme ve uygulamaya yönelik becerilerini ve son olarak sistemsel davranış hakkında verdikleri kararları değerlendirme becerilerini geliştirdikleri raporlanmıştır (Maani & Maharaj, 2004). Bu sonuç, akla bu becerilerin hiyerarşik olabilirliğini getirmektedir. Nitekim sistemsel düşünme becerilerini hiyerarşik bir model içerisinde tanımlayan Ben-Zvi Assaraf ve Orion

(2005) daha önce alanyazında yapılmış çalışmalarda raporlandırılmış toplam sekiz beceriyi üç seviye altında incelemişlerdir. "Sistemsel Düşünme Hiyerarşik Modeli" adını verdikleri model; Orgill vd. (2019) tarafından görselleştirilmiştir (Şekil 1).



Şekil 1

Sistemsel Düşünme Hiyerarşik Model Piramidi (Orgill vd., 2019, s. 2726).

Sistemsel düşünme hiyerarşik modelinde sistem bileşenlerinin analizi, sentezi ve uygulama olmak üzere üç beceri seviyesi belirlenmiştir. Modelde en altta ilk beceri olan sistemin bileşenlerini ve sistem içerisindeki süreçleri belirleme becerisi yer almaktadır. Bu beceri "sistem bileşenlerinin analizi" seviyesindedir. Görselde yeşil renk ile gruplanmış 4 beceri, sistem bileşenlerinin arasındaki ilişkiler üzerinedir ve "sistem bileşenlerinin sentezi" seviyesindedir. Son seviye olan uygulama seviyesinde ise 3 beceri yer almaktadır. Bu beceriler genelleme yapabilme, sistemin gizli boyut ve bileşenlerini anlama ve zamana bağlı düşünme olarak ifade edilmiştir. Bu becerileri anlamayı kolaylaştıracak sorular Orgill vd. (2019, s. 2727) tarafından aşağıdaki gibi hazırlanmıştır:

1. Sistemin bileşenlerini ve sistem içerisindeki süreçleri belirleme becerisi: Sistemin bileşenleri ve özellikleri nelerdir?
2. Sistem bileşenleri arasındaki ilişkileri belirleme becerisi: Sistemin hangi bileşenleri ilişkili ya da bağlantılıdır?
3. Sistem içindeki dinamik ilişkileri belirleme becerisi: Sistemin bileşenleri nasıl ilişkilidir, zaman içerisinde birbirlerini nasıl etkilerler?
4. Sistem bileşenlerini ve süreçlerini ilişkiler çerçevesinde organize etme becerisi: Bir sistem içindeki tüm ilişkiler nasıl birbirine bağlıdır?

5. Sistemin döngüsel doğasını anlama becerisi: Sistemin davranışında tekrar eden örüntüler nelerdir? Bu tekrar eden döngüsel davranışlara ne sebep oluyor olabilir?
6. Genelleme yapabilme becerisi: Bir sistemdeki genel örüntülerden hangileri diğer sistemlere uygulanabilir?
7. Sistemin gizli boyutlarını anlama becerisi: Sistemin davranışına hangi görünmez bileşenler ve süreçler katkıda bulunuyor olabilir?
8. Zamana bağlı düşünme becerisi: Geçmiş eylemler sistemin şu anki davranışını nasıl etkiledi? Şu an gerçekleşen eylemler sistemin gelecekteki davranışını nasıl etkileyebilir (tahmin etme)?

Araştırmacılar, sistemsel düşünme becerilerinin gelişimsel bir sıra izlediğini ve her beceri seviyesinin bir sonraki seviyede yer alan becerilerin geliştirilmesi için temel teşkil ettiğini vurgulamışlardır (Ben-Zvi Assaraf & Orion, 2010). Buna göre bir sistemin bileşenleri arasındaki ilişkileri belirleme becerisinde (analiz düzeyi) başarılı olamayan bir öğrencinin, sistemler hakkında anlık düşünmesi (uygulama düzeyinde) söz konusu olmayacaktır. Sistemsel düşünme hiyerarşik modelinin piramit yapıda olmasının nedeni ise ilk basamaklarda yer alan sistemsel düşünme becerilerine sahip öğrenci sayısının fazla ancak üst basamaklardaki becerilere sahip öğrenci sayısının daha az olmasıdır. Hiyerarşik modelde yukarı doğru ilerlerken, her basamakta daha az öğrenci ilgili becerileri gösterir. Elbette talep edilen, öğrencileri en üst seviyeye ulaştırarak sistemsel düşünen bireyler yetiştirmektir.

Her ne kadar "Sistemsel Düşünme Hiyerarşik Modeli" sistemsel düşünme ile ilgili en çok yararlanılan model olsa da alanyazında sistemsel düşünme becerilerini kategorize eden başka çalışmalara da rastlamak mümkündür. Bunlar arasında dikkat çekenlerden bir tanesine daha burada yer vermek bu becerilere farklı bakış açılarından bakabilmek adına faydalı olacaktır. Stave ve Hopper (2007), Bloom'un taksonomisindeki öğrenme kazanımlarının seviyeleriyle sistemsel düşünme becerilerinin özelliklerini karşılaştırarak "Sistemsel Düşünme Sürekliliği" adını verdikleri bir taksonomi geliştirmişlerdir. Buna göre sistemsel düşünme becerileri temel, orta ve ileri seviye olmak üzere üç seviyede incelenmiştir. Toplamda yedi beceriden oluşan bu beceriler bir sayı doğrusu üzerinde sıralanmış şekilde gösterilmiştir (Şekil 2). Bu modelde temel beceriler olarak öncelikle sistemin birleşenlerinin anlaşılması ve daha sonra geri bildirimlerin tanımlanmasının gerektiği belirtilmiştir. Orta seviyedeki beceriler sistemin dinamik davranışını anlama, değişken ve akış tiplerini ayırt etme ve kavramsal modeller kullanma becerileridir. Son olarak ileri seviye beceriler ise sistemin davranışlarına dair simülasyon modelleri oluşturma ve sistem bileşenlerinin değişmesi durumunda sistem davranışında ortaya çıkan değişikliklerin test edilmesi ve yorumlanması şeklindedir. Bu becerilerin Bloom taksonomisi ile nasıl örtüştüğü şekil üzerinde belirtilmiştir (Şekil 2). Bu yedi becerinin

ölçülmesi, Plate ve Monroe (2014) tarafından Amerikan Ulusal Eğitim İstatistikleri Merkezinin okuryazarlık için tanımladığı 4 yeterli seviyesi (Başlangıç seviyesinin altında, başlangıç, orta ve ileri) çerçevesinde ayrıntılı olarak açıklanmıştır. Örneğin geri bildirimleri tanımlama becerisi için bakıldığında başlangıç seviyesinin altında yeterli gösteren bir birey geri bildirim bir sistemde oynadığı rol hakkında ya hiç bilgi sahibi değildir ya da çok az bilgi sahibidir. Aynı beceri için ileri seviyede yeterli gösteren birey ise bir sistemde farklı zamanlarda etki gösteren çoklu geri bildirim mekanizmalarının etkisini tahmin edebilir.



Şekil 2

Sistemsel Düşünme Sürekliliği (Stave & Hopper, 2007, s. 12)

Buraya kadar özetlenen sistem becerilerine genel olarak bakıldığında sistemsel düşünen bireylerin sahip olması gereken ortak beceriler olduğu sonucuna ulaşılabılır. Bunlardan sistemsel düşünmenin tanımında da yer alan bütüncül düşünme becerisi en dikkat çekendir. Diğerleri, sistem bileşenlerini ve aralarındaki gerek doğrusal gerek döngüsel ilişkileri kavrama, bu ilişkilerden yola çıkarak sistemlerin dinamik ve karmaşık eylemlerini anlama ve açıklama ile çeşitli sistem birleşenlerinin zamana bağlı değişiminin sistem davranışını nasıl etkileyeceği üzerine tahminlerde bulunma becerileridir. Bu becerilerin gelecek nesiller tarafından edinilmesi geçmişte verdiğimiz kararların sonucu olarak bugün karşılaştığımız sorunları (küresel iklim değişikliği, atık sorunu) çözmeleri için olduğu kadar yeni sorunlar ile karşılaşmalarına da engel olacak olması nedeniyle oldukça önemlidir.

Bireylerin, sistem düşünme becerilerini sadece deneyim yoluyla geliştirmedikleri bilinmektedir (Sweeney & Sterman, 2000). Öğretmenler, öğrencilerinin gelecekte karşılaşacakları dünyanın gerçekliğini daha iyi kavramaları için karmaşık ve zor görünen sistemleri öğrenme araçları olarak kullanabilirler. Sistemsel düşünme, öğrencilerin bütüncül olarak düşünmelerine, kendilerine sormaları gereken ve "farz edelim" ile

başlayan sorularının yanıtlarını bulabilmelerine yardımcı olur (Maani & Maharaj, 2004). Sistemsel düşünen bireylerin, 21. yüzyıl problemlerini çözme ve disiplinlerarası çalışma yapabilmeye başarılı olmaları beklenmektedir.

Sistemsel Düşünme Becerilerini Geliştirme

Sistemsel düşünme bilim, teknoloji ve günlük yaşamda üst düzey bir beceri olmasına rağmen fen eğitiminde sistemsel düşünme hakkında bilinenler sınırlıdır (Senge, 1990). Fen eğitimcileri, yaşam temelli bağlamlardaki sistemler hakkında öğrencilerin düşünmelerine en iyi şekilde olanak verecek etkinlikler geliştirmelidirler. Özellikle de alana özgü bilgiler ve açıklayıcı yorumların sistemler hakkında öğrenmeyi ne şekilde sağladıkları üzerinde de çalışılmalar yapılmalıdır (Penner, 2000).

Sistemsel düşünme özellikle kimya eğitiminde son yıllarda popüler bir konu olsa da aslında yeni bir kavram değildir. Öğrencilere sistemsel düşünme becerilerinin kazandırılması çalışmaları 1960'lı yıllara kadar dayanmaktadır. Forrester (1968), zamana bağlı karmaşık olguları anlamak amacıyla sistemsel düşünmenin bilgisayar modellemesi alanında "sistem dinamiklerini" oluşturmuştur. Değişkenler arasındaki karışık ilişkileri temsil eden, "değişim" kavramına dayalı simülasyonlar ve bilgisayar destekli modeller geliştirmiştir. Mandinach (1989) ve Steed (1992), bir bilgisayar yazılımı olan STELLA'nın (Structural Thinking Experimental Learning Laboratory with Animation – Animasyonlarla Sistemsel Düşünme Deneysel Öğrenme Laboratuvarı) sistem işleyişi ve parçaları arasındaki ilişkileri belirlemeye katkı sağladığını bildirmişlerdir. Dolayısıyla bu çalışmalar sistem dinamiklerini yani bir sistemi oluşturan elemanlar arasındaki ilişkileri ve onların sistemin bütününe nasıl etkilediklerini anlamayı geliştirmek amacıyla yapılmış çalışmalardır. Ayrıca Mandinach (1989), lise öğrencilerinin alana özgü bilgilerini ve problem çözme becerilerini geliştirmek amacıyla STELLA simülasyon-modelleme yazılımının kullanıldığı STACI (Systems Thinking and Curricular Innovation – Sistemsel Düşünme ve Öğretim Programı Yenilikçiliği) isimli projesini rapor etmiştir. Sistemsel düşünmeyi geliştirme amacı doğrultusunda geliştirilen başka bir bilgisayar destekli öğretim çalışması da Penner (2000) tarafından yapılmıştır. Bu çalışmada Penner az sayıdaki ortaokul öğrencisini ani değişim olan sistemleri anlamaya çalışırken gözlemlenmiştir. Bu sistemlerde, parçalar arasında mikro düzeyde meydana gelen etkileşimler neticesinde makro düzeyli özellikler ortaya çıkmaktadır. Öğrencilerin bu sistemlerle ilgili ilk anlamaları ve sistemsel düşünmelerinin yansıttığı aşağıdaki yorumlar ortaya çıkmıştır:

1. Sistemin altında yatan tek bir nedensel kuvvet olmayabilir,
2. Mikro ve makro düzeydeki analizleri ayırt etmek,

3. Mikro düzeydeki küçücük bir değişimin makro düzeyde önemli değişimlere neden olabileceğini anlamak.

Ben-Zvi Assaraf ve Orion (2005), sekizinci sınıfta öğrenim gören 50 öğrencinin katılımıyla sistemsel düşünme becerilerini geliştirmek üzerine bir araştırma tasarlamışlardır. Deney grubu lehine, birçok öğrencinin sistemsel düşünme becerilerinin anlamlı düzeyde geliştiği; özellikle de deney grubu öğrencilerinin üçte birinin üst düzey sistemsel düşünme becerileri kazandıkları çalışmada araştırmacılar, "su döngüsü" hakkında bir öğretim programı geliştirmişlerdir. Bu program disiplinlerarası çevre odaklı 45 saatlik sorgulamaya dayalı etkinlik içermektedir ve "Mavi Gezegen" olarak adlandırılmıştır. Mavi Gezegen Öğretim Programı'nın esas özellikleri şu şekilde sunulmuştur:

- a. Gerçekçi bir Çevresel "Giriş Hikâyesinin" Tanımlanması – Programın giriş hikâyesi "Su kaynaklarımızı korumak için nasıl davranmalıyız?" sorusuydu. Soruyu cevaplamak amacıyla öğrencilerin Dünya sistemleri ile her bir sistemle insanlar arasındaki ilişkileri araştırmaları gerekmektedir.
- b. Anlamlı Öğrenme için Bir Bağlam Olarak Gerçek Dünya Olgusu – Okul dışı öğrenme ortamları programın merkezi bir parçası olmuştur. Program süresince öğrenciler bir su kaynağı, bir dikit mağarası, yakınlarda kirli bir nehir ve bir su arıtma tesisini araştırmışlardır.
- c. Dünya'daki Su Sisteminin Bütüncül Doğasını Anlamak – Su döngüsünün bileşenlerini araştırmak bileşenler arası ve bileşenlerle insanlar arasındaki ilişkileri anlamayı gerektirir. Farklı mekanlardan alınan su örneklerinin kalitelerini kıyaslayan öğrenciler "Çeşmeden içtiğimiz suyla satın aldığımız içme suyu arasındaki fark nedir?" "Dünyadaki suyun özellikleri nelerdir?" ve "İçtiğimiz yeraltı sularını kim etkiliyor?" şeklinde günlük hayatla ilgili soruları da sınıfta tartışmışlardır.
- d. Bilgi-Entegrasyon Etkinlikleri – Öğrenciler dinamik ve döngüsel bir sistem olarak su döngüsünü yapılandırmaları için kavram haritaları, çizimler ve okul dışı etkinlikleri özetleme gibi entegrasyon etkinliklerine katılmışlardır.

Sonuç ve Tartışma

Sistemsel düşünme yaklaşımı; genel özellikleri itibarıyla bütüncül bir yaklaşım olması, kavram öğrenimini ön planda tutması, küresel sorunlara çözüm bulmada yol gösterici olması ve bilimsel okur-yazar bireyler yetiştirme gibi hedefleri destekleyen bir öğrenme yaklaşımı olması sebebiyle ciddi bir potansiyele sahiptir (Richmond, 1993). Bu noktada eğitim sistemlerindeki değişim ve dönüşümün bu anlamda anahtar kavramlarından biri

olma ihtimali yüksektir (Mandinach & Cline, 1993). Amerika, Kanada ve Almanya gibi farklı ülkelerde bu konularla ilgili çalışmalar yapan bilimsel ekipler olduğu alanyazında görülmektedir (Orgill vd., 2019; Mahaffy vd., 2018; Schuler vd., 2018). Yukarıda da ayrıca ilgili başlıklarda sistemsel düşünme becerileri detaylıca açıklanmıştır. Bu becerilerin günümüz toplumu için önemi yadsınamayacak bir gerçekliktir.

Sistemsel düşünme yaklaşımı, güncel yaklaşımlardan biri olan STEM eğitimi yaklaşımı ile ilişkisi bağlamında genel olarak değerlendirilebilir. STEM eğitimi yaklaşımında kullanılan mühendislik tasarım süreci, teorik çerçevesi ile bir tasarım sürecine girilerek ürün oluşturulmaktadır (Moore vd., 2013). STEM eğitim yaklaşımının özellikleri şu şekilde sıralanmıştır (Akarsu vd., 2020): Disiplinlerarası bir yaklaşımdır. Gerçek hayattan sosyal değeri olan ilginç bir bağlam ile kurgulanır. Mühendislik tasarım sürecini (MTS) kullanır. Kanıta dayalı karar verme sürecini içerir. Tekrarlı bir tasarım sürecini içerir. Öğrenme adım adım yapılandırılır. Hatalardan öğrenilir. Ürün değil süreç odaklı bir eğitimi içerir. Çözümde çeşitliliğe ve farklı alternatif cevaplara izin verir. Öğrenciler gruplar hâlinde çalışır. STEM eğitimi yaklaşımının ürün, süreç ve tasarım odaklı olduğu açıkça söylenebilir (Aranda vd., 2020). Bu özellikleri sebebiyle güncel fen programında da kendine yer bulmuştur (Elmas & Gül, 2020). STEM eğitim yaklaşımının eğitim süreçlerine bakıldığında daha çok uygulama için gerektiği kavram öğrenimi gibi bir husus da vardır (Kelley & Knowles, 2016). Yani doğrudan kavram öğreniminden ziyade gerektiği kadar kavram öğrenimi mevcuttur (Aranda vd., 2020). Sistemsel düşünme bu kısmın ötesinde ürünlerin sistem içindeki yerini, görevini ve bütün ile olan ilişkisini de vurgulaması açısından sürece daha geniş bir perspektiften bakmaktadır (Mahaffy vd., 2018). Ayrıca sistemsel düşünme yaklaşımında kavramların öğrenimi için her seferinde bir uygulama ile eşleştirilmesi gibi bir kaygı yoktur.

Sistemsel düşünme yaklaşımının STEM eğitimi yaklaşımından bir diğer farkı ise çoklu bağlam kullanımındır (Elmas, 2020). Burada çoklu bağlam kullanımından kasıt, verilecek olan fen ile ilgili kavramların sistemin bütünü için birden çok bağlam kullanılarak tasarlanan bir öğrenme ortamında öğrenciye sunulmasıdır. STEM eğitimi yaklaşımında genellikle tek bir bağlamda kurgulanan sorunun çözümü için yapılan tasarım üzerinden ürün gelişimi vardır. Sistem düşüncesi yaklaşımında ise bir konu çok farklı bağlamlar kullanılarak farklı boyutlarda değerlendirmelere tabii tutulur (Bir örneği için: Orgill vd., 2019). Tabii ki bu sistemin bütüncül bir şekilde anlaşılması için önemlidir. Sistem düşüncesinin STEM alanlarında nasıl uygulanacağını alanyazında birçok örneği bulunmaktadır (York vd., 2019).

Belirtilen özelliklerden de açık bir şekilde anlaşılmaktadır ki böyle bir sistemin fen eğitiminde kullanımında bağlam kullanımı kaçınılmaz görünmektedir (Kali vd., 2003). Bu noktada sistemsel düşünme yaklaşımının bağlam temelli öğrenme ile ilişkisi gündeme

gelmektedir. Bağlam temelli öğrenme yaklaşımına ders tasarımından soru tasarımına kadar birçok çalışmada yer verilmiş ve alanyazında ciddi sayıda çalışma, bu yaklaşımın eğitim süreçlerinde etkili olarak kullanılabileceğini göstermiştir (Çiğdemöğlü & Geban, 2015; Peşman & Özdemir, 2012; Elmas & Geban, 2016; Elmas & Eryılmaz, 2015). Sistemsel düşünme yaklaşımında bağlamın kullanılacağı açıktır ama bağlam temelli yaklaşımın rutin uygulamalarından farklı olarak sistemsel düşünme bir olayı bütünlemesine ele aldığı için yukarıda açıklandığı gibi çoklu bağlam kullanımına ihtiyaç duymaktadır (Elmas, 2020; Orgill vd., 2019; Gilissen vd., 2020). Bu konuya güncel bir örnek olarak sistem düşüncesi ve bağlam temelli yaklaşımın birlikte kullanıldığı insan sağlığı ve refahı konusunun ele alındığı çalışma verilebilir (Armstrong & Poë, 2020). İlgili çalışmada sistem düşüncesinin bütünleştirici özelliği bağlam temelli bir yaklaşım kullanılarak öğrenciye sunulmuştur. Ayrıca sistemsel düşünmenin sürece daha bütünsel baktığı ve sistemi anlama çaba ve gayretinden dolayı farklı boyutları ele alarak ilerlediği görülmektedir. Sistem düşüncesi yaklaşımının sadece fen alanlarında kullanılabilmesi gibi bir yanılgıya da düşülmemesi gerekir. Sosyal ve ekonomi gibi alanlarda da kullanımına rastlamak mümkündür (Davidsen vd., 1993; Zaraza, 1995).

Çıkar Çatışması Bildirimi

Yazarlar; bu makalenin araştırılması, yazarlığı ve/veya yayımlanmasına ilişkin herhangi bir potansiyel çıkar çatışması beyan etmemiştir.

KAYNAKÇA

- Akarsu, M., Okur Akçay, N., & Elmas, R. (2020). STEM eğitimi yaklaşımının özellikleri ve değerlendirilmesi. *Boğaziçi Üniversitesi Eğitim Dergisi*, 37, 155-175.
- Aranda, M. L., Lie, R., & Guzey, S. S. (2020). Productive thinking in middle school science students' design conversations in a design-based engineering challenge. *International Journal of Technology and Design Education*, 30(1), 67-81.
- Aranda, M. L., Lie, R., Guzey, S. S., Akarsu, M., Johnston, A., & Moore, T. J. (2020). Examining teacher talk in an engineering design-based science curricular unit. *Research in Science Education*, 50(2), 469-487.
- Armstrong, D., & Poë, J. C. (2020). The science of human health—a context-based chemistry course for non-science majors incorporating systems thinking. *Journal of Chemical Education*, 97(11), 3957-3965.
- Arnold, R. D., & Wade, J. P. (2015). A definition of systems thinking: A systems approach. *Procedia Computer Science*, 44, 669-678. <https://doi.org/10.1016/j.procs.2015.03.050>

- Arnold, R. D., & Wade, J. P. (2017). A complete set of systems thinking skills. *Insight*, 20(3), 9-17. <https://doi.org/10.1002/inst.12159>
- Ben-Zvi Assaraf, O., & Orion, N. (2005). Development of system thinking skills in the context of earth system education. *Journal of Research in Science Teaching*, 42(5), 518-560. <https://doi.org/10.1002/tea.20061>
- Ben-Zvi Assaraf, O., & Orion, N. (2010). Four case studies, six years later: Developing system thinking skills in junior high school and sustaining them over time. *Journal of Research in Science Teaching*, 47(10), 1253-1280.
- Boardman, J., & Sauser, B. (2008). *Systems thinking*. CRC Press. <https://doi.org/10.1201/9781420054927>
- Çiğdemoğlu, C., & Geban, Ö. (2015). Improving students' chemical literacy levels on thermochemical and thermodynamics concepts through a context-based approach. *Chemistry Education Research and Practice*, 16(2), 302-317.
- Davidson, P. I., Bjurklo, M., & Wikström, H. (1993). Introducing system dynamics in schools: the Nordic experience. *System Dynamics Review*, 9(2), 165-181.
- Elmas, R., & Eryılmaz, A. (2015). Bağlam temelli fen soru yazımı: Kriterler ve efsaneler. *Kuramsal Eğitim Bilim Dergisi*, 8(4), 564-580.
- Elmas, R., & Gül, M. (2020). STEM Eğitim yaklaşımının 2018 fen bilimleri öğretim programı kapsamında uygulanabilirliğinin incelenmesi. *Türkiye Kimya Derneği Dergisi Kısım C: Kimya Eğitimi*, 5(2), 224-247.
- Elmas, R. (2020). Bağlamın anlamı ve nitelikleri ve öğrencilerin fen eğitiminde bağlam tercihleri. *Türkiye Kimya Derneği Dergisi Kısım C: Kimya Eğitimi*, 5(1), 53-70.
- Elmas, R., & Geban, Ö. (2016). The effect of context-based chemistry instruction on 9th grade students' understanding of cleaning agents topic and their attitude toward environment. *Eğitim ve Bilim*, 41(185), 33-50.
- Elmas, R., Öztürk, N., Irmak, M., & Cobern, W. W. (2014). An investigation of teacher response to national science curriculum reforms in Turkey. *International Journal of Physics & Chemistry Education*, 6(1), 2-33.
- Evagorou, M., Korfiatis, K., Nicolaou, C., & Constantinou, C. (2009). An investigation of the potential of interactive simulations for developing system thinking skills in elementary school: a case study with fifth-graders and sixth-graders. *International Journal of Science Education*, 31(5), 655-674.
- Forrester, J. W. (1968). *Principles of systems*. Wright-Allen Press.

- Forrester, J. W. (1994). System dynamics, systems thinking, and soft OR. *System Dynamics Review*, 10(2-3), 245-256.
- García-Carmona, A. (2020). From inquiry-based science education to the approach based on scientific practices. *Science & Education*, 29(2), 443-463.
- Gilissen, M. G., Knippels, M. C. P., & van Joolingen, W. R. (2020). Bringing systems thinking into the classroom. *International Journal of Science Education*, 42(8), 1253-1280.
- Gould-Kreutzer, J. M. (1993). Foreword: System dynamics in education. *System Dynamics Review*, 9(2), 101-112.
- Kali, Y., Orion, N., & Eylon, B. S. (2003). Effect of knowledge integration activities on students' perception of the Earth's crust as a cyclic system. *Journal of Research in Science Teaching*, 40(6), 545-565.
- Karaarslan Semiz, G., & Teksöz, G. (2020). Developing the systems thinking skills of pre-service science teachers through an outdoor ESD Course. *Journal of Adventure Education and Outdoor Learning*, 20(4), 337-356.
- Karaaslan-Semiz, G., & Teksöz, G. (2019). Sistemsel düşünme becerilerinin tanımlanması, ölçülmesi ve değerlendirilmesi üzerine bir çalışma: Kavram haritaları. *Başkent University Journal of Education*, 6(1), 111-126.
- Kelley, T. R., & Knowles, J. G. (2016). A conceptual framework for integrated STEM education. *International Journal of STEM Education*, 3(1), 1-11.
- Kopainsky, B., Alessi, S. M., & Davidsen, P. I. (2011). Measuring Knowledge Acquisition in Dynamic Decision Making Tasks. In *The 29th International Conference of the System Dynamics Society* (pp. 1-31). Washington, DC.
- Liu, L., & Hmelo-Silver, C. E. (2009). Promoting complex systems learning through the use of conceptual representations in hypermedia. *Journal of Research in Science Teaching*, 46(9), 1023-1040.
- Logan M. (2020) Challenging the Anthropocentric Approach of Science Curricula: Ecological Systems Approaches to Enabling the Convergence of Sustainability, Science, and STEM Education. In: Cutter-Mackenzie-Knowles A., Malone K., Barratt Hacking E. (eds) *Research Handbook on Childhoodnature. Springer International Handbooks of Education*, p. 1181-1208. Springer, Cham. https://doi.org/10.1007/978-3-319-67286-1_99
- Maani, K. E., & Maharaj, V. (2004). Links between systems thinking and complex decision making. *System Dynamics Review*, 20(1), 21-48. <https://doi.org/10.1002/sdr.281>

- Mahaffy, P. G., Krief, A., Hopf, H., Mehta, G., & Matlin, S. A. (2018). Reorienting chemistry education through systems thinking. *Nature Reviews Chemistry*, 2(4), 1-3.
- Mahaffy, P. G., Matlin, S. A., Holme, T. A., & MacKellar, J. (2019). Systems thinking for education about the molecular basis of sustainability. *Nature Sustainability*, 2(5), 362-370.
- Mandinach, E. B. (1989). Model-building and the use of computer simulation of dynamic systems. *Journal of Educational Computing Research*, 5(2), 221-243. <https://doi.org/10.2190/7w4f-xy0h-l6fh-39r8>
- Mandinach, E. B., & Cline, H. F. (1993). Systems, science, and schools. *System Dynamics Review*, 9(2), 195-206.
- Meadows, D. H. (2008). *Thinking in systems: A Primer*. White River Junction, VT: Chelsea Green Publishing.
- Moore, T. J., Miller, R. L., Lesh, R. A., Stohlmann, M. S., & Kim, Y. R. (2013). Modeling in engineering: The role of representational fluency in students' conceptual understanding. *Journal of Engineering Education*, 102(1), 141- 178.
- Nagarajan, S., & Overton, T. (2019). Promoting systems thinking using project-and problem-based learning. *Journal of Chemical Education*, 96(12), 2901-2909.
- Orgill, M. K., York, S., & MacKellar, J. (2019). Introduction to Systems Thinking for the Chemistry Education Community. *Journal of Chemical Education*, 96(12), 2720-2729. <https://doi.org/10.1021/acs.jchemed.9b00169>
- Pazicni, S., & Flynn, A. B. (2019). Systems Thinking in Chemistry Education: Theoretical Challenges and Opportunities. *Journal of Chemical Education*, 96(12), 2752-2763.
- Penner, D. E. (2000). Explaining systems: Investigating middle school students' understanding of emergent phenomena. *Journal of Research in Science Teaching*, 37(8), 784-806. [https://doi.org/10.1002/1098-2736\(200010\)37:8<784::AID-TEA3>3.0.CO;2-E](https://doi.org/10.1002/1098-2736(200010)37:8<784::AID-TEA3>3.0.CO;2-E)
- Peşman, H., & Özdemir, Ö. F. (2012). Approach-method interaction: The role of teaching method on the effect of context-based approach in physics instruction. *International Journal of Science Education*, 34(14), 2127-2145.
- Ponto, C. F., & Linder, N. P. (2011). *Sustainable tomorrow: A teachers' guidebook for applying systems thinking to environmental education curricula*. Association of Fish & Wildlife Agencies.

- Richmond, B. (1993). Systems thinking: Critical thinking skills for the 1990s and beyond. *System Dynamics Review*, 9(2), 113-133. <https://doi.org/10.1002/sdr.4260090203>
- Richmond, B. (1994). Systems Dynamics/Systems Thinking: Let's Just Get On With It. In *International Systems Dynamics Conference*. Sterling, Scotland.
- Richmond, B. (1997). The "Thinking" in systems thinking: How can we make it easier to master? *Systems Thinker*, 8(2), 1-5.
- Ritchie, T. A. (2017). *Developing and Measuring Systems Thinking Skills in Students and Teachers* [Unpublished doctoral dissertation]. University of Florida.
- Schuler, S., Fanta, D., Rosenkraenzer, F., & Riess, W. (2018). Systems thinking within the scope of education for sustainable development (ESD)-a heuristic competence model as a basis for (science) teacher education. *Journal of Geography in Higher Education*, 42(2), 192-204.
- Şenaras, A. E., & Sezen, H. K. (2017). Sistem düşüncesi. *Journal of Life Economics*, 4(1), 39-58.
- Senge, P. M. (1990). *The fifth discipline: The art & practice of the learning organization*. Currency Doubleday. <https://doi.org/10.1201/9780429196607-10>
- Senge, P. M. (2006). *The fifth discipline: The art and practice of the learning organization*. Random House, London, UK.
- Squires, A., Wade, J., Dominick, P., & Gelosh, D. (2011). Building a Competency Taxonomy to Guide Experience Acceleration of Lead Program Systems Engineers. In *9th Annual Conference on Systems Engineering Research (CSER)* (pp. 1-10). Redondo beach, CA.
- Stave, K. A., & Hopper, M. (2007, July 29 - August 2). *What Constitutes Systems Thinking? A Proposed Taxonomy* [Conference presentation]. 25th International Conference of the System Dynamics Society, Boston, MA, United States. <https://systemdynamics.org/wp-content/uploads/assets/proceedings/2007/2007proceed.html>
- Sweeney, L. B., & Sterman, J. D. (2000). Bathtub dynamics: initial results of a systems thinking inventory. *System Dynamics Review*, 16(4), 249-286. <https://doi.org/10.1002/sdr.198>
- Tecim, V. (2004). Sistem yaklaşımı ve soft sistem düşüncesi. *Dokuz Eylül Üniversitesi İktisadi İdari Bilimler Fakültesi Dergisi*, 19(2), 75-100.

The nine planetary boundaries. (2021). Retrieved March 22, 2021, from <https://www.stockholmresilience.org/research/planetary-boundaries/planetary-boundaries/about-the-research/the-nine-planetary-boundaries.html>

UNDP Türkiye. (2021). Retrieved March 22, 2021, from <https://www.tr.undp.org/content/turkey/tr/home.html>

Verhoeff, R. P., Knippels, M. P. J., Gilissen, M. G. R., & Boersma, K. T. (2018). The theoretical nature of systems thinking. Perspectives on systems thinking in biology education. *Frontiers in Education*, 3(40). Sayfa? <https://doi.org/103389/feduc.2018.00040>

York, S., Lavi, R., Dori, Y. J., & Orgill, M. (2019). Applications of systems thinking in STEM education. *Journal of Chemical Education*, 96(12), 2742-2751.

Zaraza, R. (1995). Systems thinking in the classroom. *Curriculum Technology Quarterly*, 5(1). www.ascd.org/publications/ctq/1995fall/zaraza.html

