

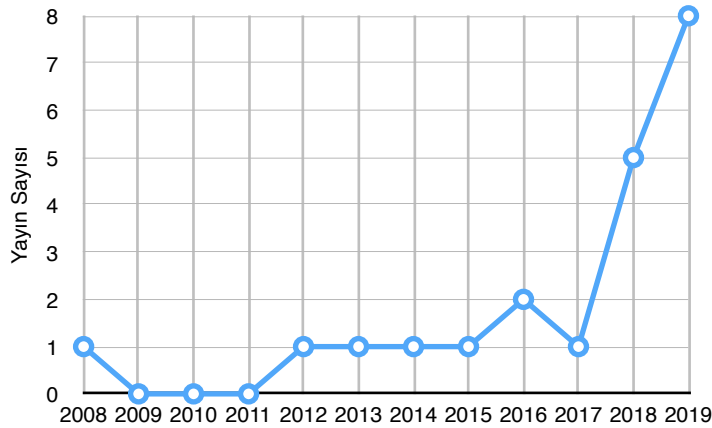
Sistem Düşüncesi Temel Becerileri¹

Emre Göktepe

Giriş

Türkiye'de Eğitimde Sistem Düşüncesi çalışmaları, 2015 yılının Ağustos ayında Waters Center for Systems Thinking (o zamanki adı ile, Waters Foundation) tarafından verilen Systems Thinking Level 1 Workshop (Eğitimde Sistem Düşüncesi Düzey 1 Çalıştay) ile başladı. Eğitim sonrasında yapılan çalışmalar (etkinlik tasarım, uygulama, uygulama destek, uygulamaların ve kaynakların paylaşımı, yeni eğitimler), özellikle okul öncesi ve ilkokul düzeyinde, uygulama deneyiminin birikmesini sağladı. Yapılan çalışmaların öğretmen ve gönüllü destekleyicilerden oluşan küçük bir grup tarafından gerçekleştirilmesi, çalışmaların eşgüdümünü kolaylaştırdı. Ürün ve yöntemler, önceki deneyimlerin geri beslemesi ile, sürekli geliştirildi. Çalışmalar bu biçimi ile, bir tümevarım yönetimi olan sürekli karşılaştırma yöntemine (constant comparative / grounded theory method) benzetilebilir.

Diğer yandan; sistem düşüncesinin eğitimde kullanılmasına yönelik, gittikçe artan sayıda, bilim çalışmaları da yapılmaya başladı. Yandaki grafikten de görüleceği gibi, özellikle 2018 ve 2019 yıllarında, önceki yıllara göre çok daha fazla bilim yayını yapıldı. Bir bölümü Sistem Düşüncesi Derneği üyesi de olan bu bilim insanları, Eğitimde Sistem Düşüncesi çalışmalarının kuramsal bir çerçeve içinde yapılması yönünde istek uyandırdı. Sistem düşünürü becerileri konusunda bir deneme olan yazı, bu isteğin sonuçlarından biridir.



Şekil 1 - Türkiye’de eğitimde sistem düşüncesi ile ilgili yapılan bilimsel yayınlar

¹ Eğitimde Sistem Düşüncesi Haber Bültenin 31. sayısında (Nisan 2020) yayınlanmıştır.

Sistem düşünürü olmayı tanımlayabilecek temel beceri takımı nedir?

Böyle bir beceri takımının kazandırılması; Eğitimde Sistem Düşüncesi sisteminin "amacı" olarak düşünülebilir, etkinliklerin tasarlanmasında ve sonuçlarının ölçülmesinde kullanılabilir.

Araştırmanın en önemli sınırlılığı; temel beceri takımının belirlenmesi amacı ile yapılan beceri kümeleme çalışmasında, kümeleme ölçütü olarak, araştırmacının öznel değerlendirmesinin kullanılmasıdır. Bu sınırlılık; çalışmanın Sistem Düşüncesi Derneği üyeleri ile paylaşılması ve bir değerlendirme toplantısı ile azaltılmaya çalışılmıştır. Kümeleme çalışmasının birden çok değerlendirici tarafından yapılması özneliliği daha da azaltabilir, sonuçların geçerliliğini artırabilir.

Yöntem

İlk aşamada; sistem düşüncesi becerileri ile ilgili olabilecek bilim yayınlarının, ağırlıklı olarak Google Scholar arama motoru üzerinden, taranması sonucunda aşağıdaki listede bulunan yayınlar seçildi.

Yayın	Yazar	Yıl
Habits of a Systems Thinker	Waters Center for Systems Thinking	
Systems thinking: a critical set of critical thinking skills for the 90s and beyond.	Richmond, B.	1990
The Meaning for 3-6 Grade Students Learning Systems Thinking.	Tu, C. K.	1999
The thinking in systems thinking - Honning your skills.	Richmond, B.	2000
Development of system thinking skills in the context of earth system education.	Assaraf, O. B. Z., & Orion, N.	2005
Bathtub dynamics: initial results of a systems thinking inventory.	Sweeney, L. B., & Sterman, J. D.	2000
What constitutes systems thinking? A proposed taxonomy	Stave, K., & Hopper, M.	2007
Enhancing systems-thinking skills with modelling.	Hung, W.	2008
Assessing the effectiveness of systems thinking interventions in the classroom.	Hopper, M., & Stave, K. A.	2008
System thinking skills at the elementary school level.	Assaraf, O. B. Z., & Orion, N.	2010
A structure for assessing systems thinking.	Plate, R., & Monroe, M.	2014
Developing Question Sets to Assess Systems Thinking Skills.	Dorani, K., Mortazavi, ... Mashayekhi, A. N.	2015
A definition of systems thinking: A systems approach.	Arnold, R. D., & Wade, J. P.	2015
A competence development framework for learning and teaching system dynamics.	Schaffernicht, M. F., & Groesser, S. N.	2016
Developing undergraduate students' systems thinking skills with an InTeGrate module.	Gilbert, L. A., Gross, D. S., & Kreutz, K. J.	2019
Teaching Systems Thinking in the Context of the Water Cycle.	Lee, T. D., Jones, M. G., & Chesnutt, K.	2019

Tablo 1 - Çalışmada değerlendirilen bilim yazıları

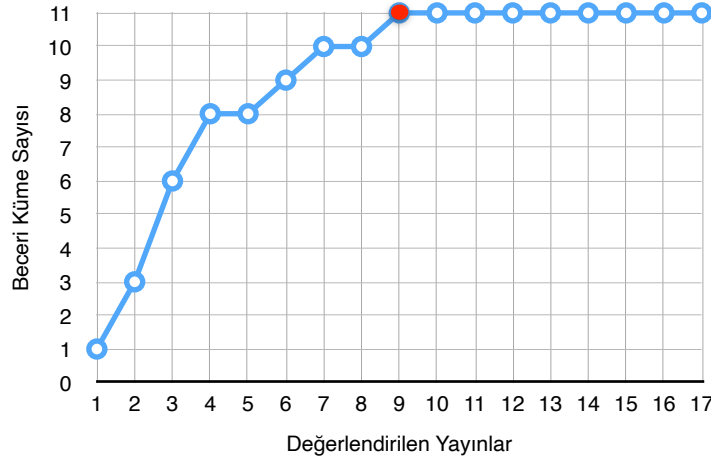
Waters Center for Systems Thinking'in yazarı olduğu, "Habits of a Systems Thinker" yayını bir bilim yazısı değil. Ancak gerek Türkiye'de Eğitimde Sistem Düşüncesi çalışmalarının başında, iki yıl ard arda alınan eğitimlerde, gerek çeşitli bilim yayınlarında kaynak olarak kullanılmaları, gerekse kurum ile yapılan yazışmadan alınan bilgiler (Bkz. Ek-1 Waters Foundation'dan Sheri Marlin ile 4 Şubat 2019 tarihli yazışmadan Sistem Düşünürü Alışkanlıkları ile ilgili bölüm ve Türkçe çevirisi) değerlendirilerek, Waters Center for Systems Thinking Sistem Düşünürü Alışkanlıklarının da araştırmada yararlanılan yayınlardan biri olması gerektiğine karar verildi.

Daha sonra; seçilen yayınlarda bulunan beceriler listelendi ve küme atamaları yapıldı. (Bkz. Ek 2 - Yayın-Beceri-Küme Tablosu: Yayılardan geçen beceriler ve atandıkları kümeler)

Küme atamalarında sekiz beceri herhangi bir kümeye atanamamış ve değerlendirme dışında bırakılmıştır:

- Waters Center for Systems Thinking'in "Habits of a Systems Thinker" sayfasında bulunan 14 alışkanlıktan 3'ü (Farklı Bakış Açıları, Varsayımlar, Zihinsel Modeller) değerlendirmeye alınmamıştır. Bu kavramlar oldukça birbirlerinin içine girmiş kavramlardır: Varsayımlarımız, zihinsel modellerimizin bir parçası değil midir? veya Farklı bakış açısı, bir başkasının zihinsel modelini değil midir? Bu kavramlar, nedensellik, döngüler, stoklar gibi sistem düşüncesinin belirleyicisi, ayırt edicisi, sistem düşüncesine "özgü" kavramlar değil, çok çok daha temel kavramlardır. Beceri tanımlarken sistem düşüncesi bağlamından çıkmanın, etik veya estetiğin de genel kabul görmüş kavramlarını almak gibi, "tanım sistemi"nin sınırlarını kullanışsızlığa götürebilecek kadar genişletme tehlikesi vardır.
- Assaraf ve Orion (2005 ve 2010) tarafından yapılan çalışmalarda, döngü tanımı, "çevrim" olarak tanımlanmıştır. Madde ve enerji akışlarının oluşturduğu bu döngüler bir tür nedensellik içerse bile, diğer pek çok "nedensel ilişki"yi tanım dışında bırakmaktadır. Örneğin; performans ve başarımlar gibi pekiştirici, açıklık düzeyi ile yemek yeme isteği gibi dengeleyici döngüler oluşturan sistemlerin tanımlanması. Bu ayrım yazarların çalışma konularından (dünya sistemleri - doğa bilimleri) kaynaklanmış olabilir.
- Diğer yandan, aynı yazarların "sistemin gizli bileşeni" tanımı da, yukarıdaki aynı gerekçe ile, gerekli görülmemiştir. Aynı örneği sürdürürsek; performans, başarımlar, açıklık ve yemek yeme düzeyleri de açık, görünen bileşenler değildir, ancak bunları fark etmenin ayırt edici bir beceri olmadığı düşünülmektedir.
- Lee, Jones ve Chesnutt (2019) tarafından, su döngüsü bağlamında yapılan çalışmada da Assaraf ve Orion'ın çalışmalarına atıf yapılarak "gizli boyutlar" kullanılmıştır. Aynı gerekçe ile bu beceri de değerlendirme dışı bırakılmıştır.
- Bunun yanında, bu iki beceri, "döngüler" ve "sistemin öğeleri" kümeleri altında değerlendirilebilirler. Böyle bir durumda da araştırma sonuçlarına herhangi bir etkileri olmaz.

İncelenen yayınların yeterli sayıda olup olmadığına karar vermek için yandaki



Değerlendirilen yayınlara göre beceri küme

sayısı (9.yayından sonra yeni beceri bulunamaması, yeterli yayın taramasının yapıldığının göstergesi olarak yorumlandı)

grafikte sonuçları görülen, amaçlı örneklem yöntemine benzer bir yaklaşım kullanıldı. Diğer bir deyişle; yeni örneklem birimlerinden (yayınlarından) artık yeni bir bilgi gelmediği noktaya, yani doyum noktasına, ulaşıp ulaşılmadığı araştırıldı.

Bu çözümlemeye göre;

1. yayınlar en az beceri kümesi içerenden en fazla içerene doğru sıralandı,
2. yayınlara göre beceri kümesi sayısı birikimli olarak hesaplandı,
3. böylece, her yayının beceri küme sayısının artmasına olan etkisi görüldü.

Bu çözümleme sonucunda, grafikte de görüleceği gibi, ilk dokuz yayından sonra beceri kümesinin sayısının değişmediği, doyum noktasına ulaştığı, onbir kümede kaldığı görüldü.

Bulgular ve Yorumlar

Belirlenen beceri kümeleri aşağıdaki tabloda liste olarak verilmiştir.

1	Parçalar ve Süreçler
2	Karşılıklı İlişkiler
3	Stoklar ve Akışlar
4	Döngü / Geri Besleme
5	Dinamik Davranış
6	Neden olarak Sistem

7	Bütüncül Düşünce
8	Kavramsal Modeller
9	Sayısal Modeller
10	Politika
11	değerlendirme dışı

Tablo 2 - Beceri kümeleri

Bu amaçla, beceri kümelerinin neden-sonuç ilişkilerine göre aşağıdaki diyagram oluşturulmuştur.



Sistem Düşüncesi Beceri İlişki Diyagramı şöyle özetlenebilir:

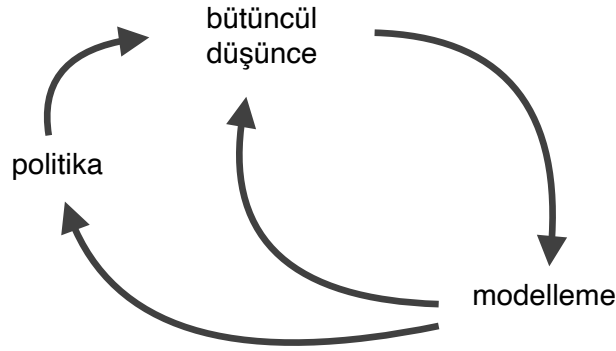
- Beceri kümeleri “kavramlaştırma düzeyi” olarak aynı düzeyde görünmemektedir. Örneğin “stoklar ve akışlar” gerçek dünya düzeyine (görgül, ampirik düzey) daha yakınken, “bütüncül düşünce” daha kavramsaldır. Bu nedenle beceri kümeleri arasında “dikey” bir ilişkilendirme de yapılmıştır.
- Bütüncül düşünce ancak; parçalar ve süreçler, karşılıklı ilişkiler, neden olarak sistem ve dinamik davranışın anlaşılması ile oluşabilir.
- Parçalar ve karşılıklı ilişkilerin anlaşılması, yayınlar içinde geçen en temel becerilerdir. Bu becerilerin oluşması için de;
 - sistemi oluşturan öğeleri; stok, akış ve etken olarak sınıflandırmak
 - sistemi oluşturan öğeler arasındaki nedensel (neden-sonuç) ilişkileri bulmak gerekmektedir.
- İncelenen yayınlarda beceri olarak geçmese de, varsayım olarak bulunan en temel beceri, nedenselliklerdir. İki öge arasında, neden-sonuç ilişkisi olmayan; öncelik-sonralık, ortak nedenden etkilenme, birinin diğerinin bir parçası olması gibi çok çeşitli ilişkiler olabilir. Sistem düşüncesinin ilgilendiği ilişki türü yalnızca nedensel ilişkilerdir. Bu nedenle, nedensel ilişkileri bulma becerisinin altında, öncelikle nedenselliğin anlaşılması, nedensel (neden-sonuç) ilişkilerini, diğer ilişki türlerinden ayırt etmek olmalıdır.
- Öğeler nedensel ilişkileri ile bir döngü oluşturuyorsa (sistemin sınırları buna uygun belirlenmişse), sistem, dışarıdan herhangi bir etki olmadan, kendiliğinden değişim göstermeye başlar. Bu nedenle döngüler, “neden olarak sistem” becerisinin altında yatan beceridir. Diğer bir deyişle, döngüleri bilmek, neden olarak sistemin, yani sistemin kendiliğinden (endojen) davranışını anlamayı sağlar:
 - nedensel döngüleri fark etmek
- Dinamik davranışın temelinde, tanımı gereği, değişim vardır. Değişim şu nedenlerle ortaya çıkabilir: Nedensel ilişkilerin doğrudan etkisi (dışarıdan etki), döngüler (kendiliğinden değişim) ve sistemdeki stoklar nedeni ile bu değişimlerin bazılarının hemen olmaması, gecikerek ortaya çıkması:
 - değişimi; altında yatan neden-sonuç ilişkilerini, döngüleri ve gecikmeleri ile, açıklamak
- Bir kez daha yinelersek: Bütüncül düşünce; sistemi oluşturan öğelerin ve aralarındaki nedensel ilişkilerin görülerek, değişimin; dışarıdan (döngü oluşturmeyen ilişkiler) veya kendiliğinden (döngü oluşturan ilişkiler) oluşan, birikimler (stoklar) nedeni ile gecikmeli, etkilerin sonucu olduğunun anlaşılması ile, ortaya çıkar (belirir).
- Bütüncül düşünce, modellemenin gerek koşuludur. Yani, modelleme için bütüncül düşünebilmek gerekli ancak yeterli değildir. Modelleme için;
 - bütüncül düşünerek, sistemin kavramsal modelini kurmak

- kavramsal bir modeli, ögeler arasındaki ilişkileri denklemler ile açıklayarak, geçerli (amaca uygun) bir sayısal modele dönüştürmek, yeniden kurmak gerekmektedir.
- Diyagramda, kavramsal ve sayısal modeller, birbiri ile ilişkili ancak üst üste değil, yan yana gösterilmiştir. Bunun nedeni, sonraki beceri, politika için herhangi birinin yeterli olabileceğidir. Yani çözüm geliştirme için kavramsal “veya” sayısal bir modelin geliştirilmiş olması yeterlidir. Ancak sayısal bir modelin geliştirilmesi için kavramsal modelin geliştirilmiş olması gereklidir:
 - kavramsal veya sayısal modeller kullanarak, sürdürülebilir çözümler geliştirmek
- Diyagramda, kavramsal ve sayısal modeller, birbiri ile ilişkili ancak üst üste değil, yan yana gösterilmiştir. Bunun nedeni, sonraki beceri, politika için herhangi birinin yeterli olabileceğidir. Yani çözüm geliştirme için kavramsal “veya” sayısal bir modelin geliştirilmiş olması yeterlidir. Ancak sayısal bir modelin geliştirilmesi için kavramsal modelin geliştirilmiş olması gereklidir:
- Temel becerin tanımlanmasında, öğrenme kazanımlarının Bloom’un bilişsel alan sınıflandırmasına uygun olarak yazılması konusunda, Kenedy ve Hyland (2007) tarafından hazırlanmış kılavuzdan yararlanılmıştır. Kılavuzda geçen iş eylemleri (kılış fiilleri, action verbs) kullanılarak temel beceriler için kazanım cümleleri kurulmuştur. (Bkz. Ek 3 - Bloom’un Sınıflandırmasına göre düzeyler ve ilgili iş (kılış) eylemleri (filleri)) Kullanılan iş eylemleri, sistem düşüncesinin yaklaşımının doğası gereği, Bloom’un sınıflandırmasında üst düzey bilişsel becerilere karşılık gelmektedir.

	Analiz	Sentez	Değerlendirme
ayır eder	•		•
sınıflandırır			•
bulur		•	
fark eder	•		
açıklar	•		•
kurar		•	
yeniden kurar		•	
geliştirir		•	

Tablo 3 - Beceri tanımlarında kullanılan eylemlerin Bloom’un bilişsel alan sınıflandırmasına göre yerleri

- Son olarak; sistem düşüncesi temel beceri takımının kendi içinde dinamik bir sistem olması nedeni ile, ögeleri arasında ilişkiler, bu ilişkilerden ortaya çıkan döngüler vardır: Bütüncül düşünce, modellemeyi etkilerken, modellemeden ve geliştirilen politikalardan da etkilenir. Modelleme ve bu modellere dayanarak politikalar belirleme süreci, bütüncül düşünceyi geliştiren eylemlerdir.



Şekil 4 - Temel beceri takımının nedensel ilişkileri

Tartışma

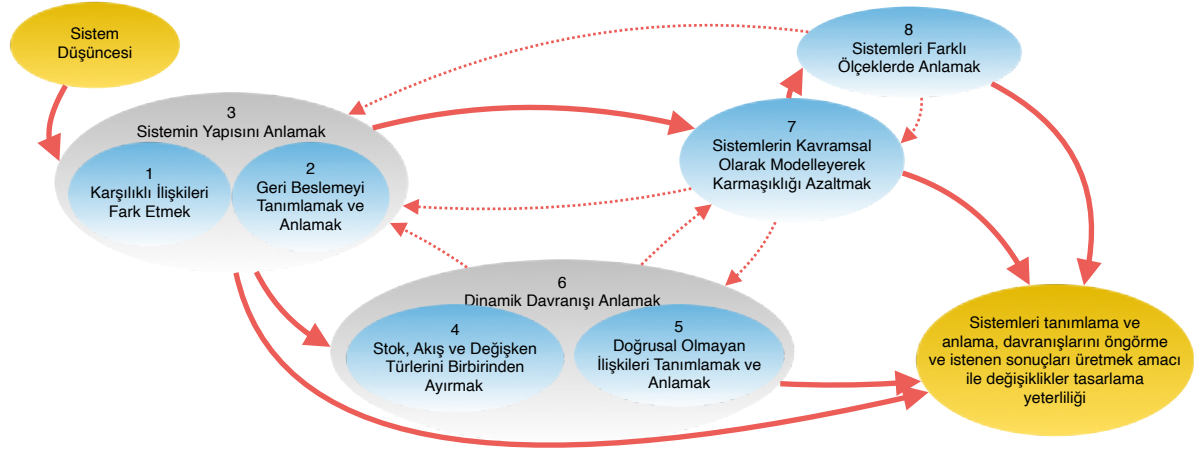
Araştırma sonucunda aşağıdaki tabloda bulunan 7 temel beceri ortaya çıkmıştır.

1	nedensel ilişkiler	sistemi oluşturan ögeler arasındaki nedensel (neden-sonuç) ilişkileri bulabilmek
2	sistemin ögeleri	sistemi oluşturan ögeleri; stok, akış ve etken olarak
3	nedensel döngüler	nedensel döngüleri fark edebilmek
4	zaman boyunca değişim	değişimi; altında yatan neden-sonuç ilişkilerini, döngüleri ve gecikmeleri ile, açıklamak
5	kavramsal modelleme	bütüncül düşünerek, sistemin kavramsal modelini kurabilmek
6	sayısal modelleme	kavramsal bir modeli, ögeler arasındaki ilişkileri denklemler ile açıklayarak, geçerli (amaca uygun) bir sayısal modele dönüştürmek, yeniden kurmak
7	sürdürülebilir çözüm	kavramsal veya sayısal modeller kullanarak, sürdürülebilir çözümler geliştirmek

Tablo 4 - Sistem Düşüncesi Temel Becerileri

Bu becerilerin ve aralarındaki nedensel ilişkilerin oluşturduğu sistem en çok, Arnold ve Wade (2015) tarafından oluşturulan Sistem Düşüncesi Sistemigramı ile uyumludur. Sistemigram Türkçe'ye çevrilerek aşağıda verilmiştir. (İngilizce aslında bulunan ilişki açıklamaları çevrilmemiştir)

Sistemigram genel olarak, Sistem Düşüncesi Temel Becerileri ile uyumdur.



Şekil 5 - Sistem Düşüncesi Sistemigramı (Arnold ve Wade, 2015)

Temel Becerilerde; sayısal modelleme ve politika geliştirme daha açık olarak vurgulanmıştır. Diğer yandan sistemigram, sistemin farklı ölçeklerde anlaşılmasını (Richmond'ın “orman düşüncesi”) ve doğrusal olmayan ilişkileri daha fazla öne çıkarmaktadır. Temel Becerilerde; farklı ölçeklerde anlaşılma, bütüncül düşünce, doğrusal olmayan ilişkiler de sayısal modelleme becerileri içinde düşünülebilir.

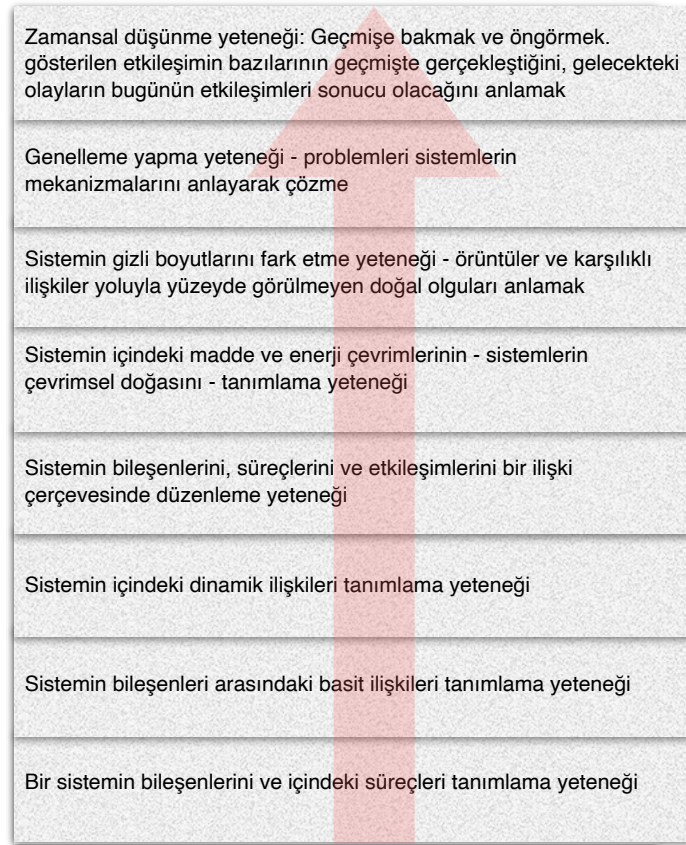
Araştırılan yayınlar için sistem düşüncesi becerileri arasında ilişki kurmuş bir başka çalışma da Sistem Düşüncesi Hiyerarşik Modelidir. (The Systems Thinking Hierarchical (STH) Model)

Önceki çalışmalarında (Assaraf ve Orion, 2005) belirlemiş oldukları sekiz becerinin, bir sonraki beceri düzeyine geçme yeterliliğine göre sıralandığı Sistem Düşüncesi Hiyerarşik Modelinin (Assaraf ve Orion, 2010) Türkçe çevirisi, aşağıdaki tabloda sunulmuştur.

Sistem Düşüncesi Temel becerileri, Sistem Düşüncesi Hiyerarşik Modeli ile, iki konu dışında oldukça uyumludur.

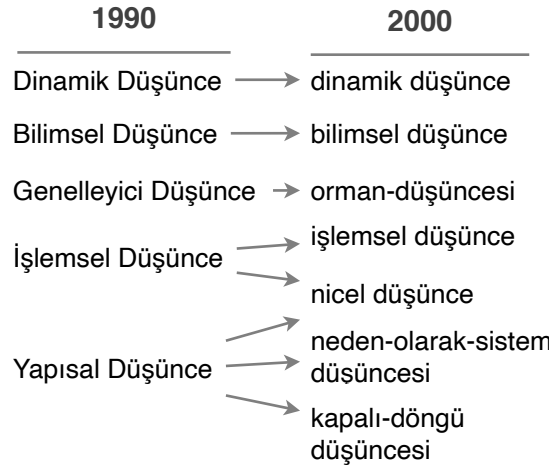
Hiyerarşik Modelde de öğelerden başlayan, basit ve dinamik ilişkiler tanımlayarak, yapıyı oluşturan ve bu yapıyı genelleyen bir akış vardır. Ancak modelde, “Yöntem” bölümünde de açıklandığı gibi döngülerin yalnızca madde ve enerji döngüleri ile sınırlı olması ve gözle görülmeyen öğeler için ayrıca bir beceri tanımlanması gibi iki büyük fark vardır. Yazarların fen ağırlıklı olarak su döngüsü gibi konularda çalışmış olması, bu farklı bakış açısının nedeni olabilir.

Diğer yandan; Jones ve Chesnutt (2019) tarafından yapılan çalışmanın da, Hiyerarşik modelden yararlanarak, üç beceri düzeyi üzerinden, su döngüsü konusunda yapılmış olması, Sistem Düşüncesi Temel Becerileri ile uyumluluk konusunda benzer bir durum ortaya çıkarmıştır. Çalışmada geçen; “Çözümleme (analiz)” ve “Bireşim (sentez)” düzeyleri, Temel Beceriler ile uyumludur. Ancak “Uygulama” düzeyinde bulunan “gizli boyutlar” kavramı, Temel Beceriler kapsamına alınmamıştır.



Şekil 6 - Sistem Düşüncesi Hiyerarşik Modeli
(Assaraf ve Orion, 2005)

Sistem düşüncesi alanının öncülerinden, “sistem düşüncesi” terimini ilk kez kullanan (Richmond ve diğerleri, 1987) kişi olan Richmond (1990 ve 2000) tarafından yapılan iki yayın incelendiğinde, yazarın, sistem düşüncesi beceri listesinde zaman içinde değişiklik olduğu görülüyor. “Dinamik Düşünce” ve “Bilimsel Düşünce” değişiklik göstermezken, “Genelleyici Düşünce” ad değiştirerek “orman-düşüncesi” olmuş, “İşlemsel Düşünce” ve “Yapısal Düşünce” içindeki “nicel düşünce”, “neden-olarak-sistem” ve “kapalı-döngü düşüncesi” ile birlikte ayrı birer beceri olarak listelenmiştir. Yapılan değişiklikler, içeriğin değiştirilmesinden çok, içeriğin yeniden

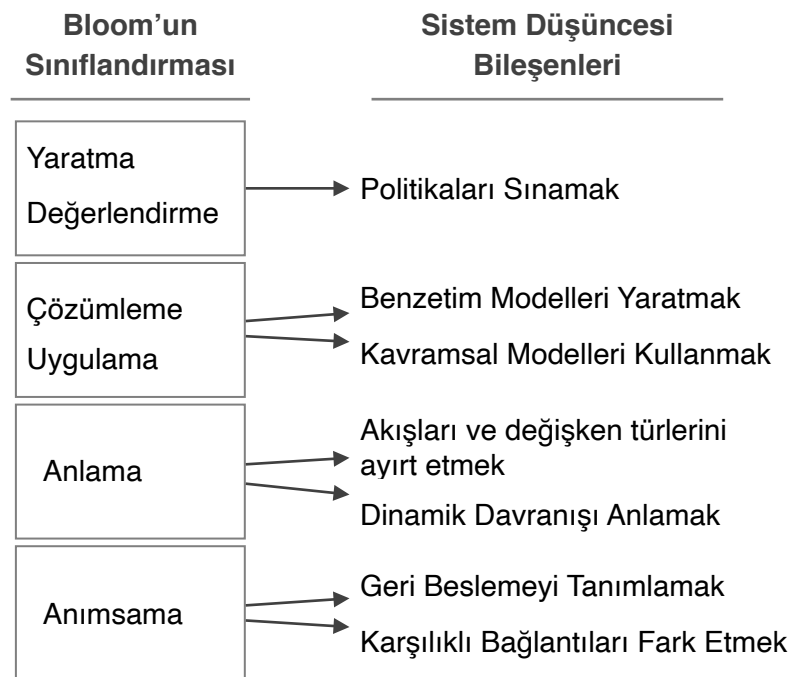


Şekil 7 - Barry Richmond'ın sistem düşüncesi beceri listeleri

düzenlemesi, daha önemli olduğu düşünülen bölümlerin öne çıkarılması olarak yorumlanmıştır. Önerilen becerilerin birbirleri ile ilişkileri kurulmamış, liste olarak verilmiştir. Daha geç olan yayında (Richmond, 2000) sistem düşüncesi yönteminin aşamalarına karşılık gelen beceriler olarak bir öncelik-sonralık sırası verilmiştir. Bu iki yayında geçen tüm becerilerin, Sistem Düşüncesi Temel Becerileri içinde, çeşitli düzeylerde karşılığı vardır. Örneğin; “Orman-düşüncesi” (“Genelleyici Düşünce”), “Bütüncül Düşünce” olarak, bir beceri grubu başlığı biçiminde karşılık bulurken, “kapalı-döngü düşüncesi”, “nedensel döngü” (döngü/geri besleme) olarak bir beceri biçiminde karşılığı vardır. Bununla birlikte, Richmond’ın (1990 ve 2000) becerileri daha kavramsal tanımladığı, bu araştırmanın amaçlarından biri olan; eğitim kazanımlarının belirlenmesinde kullanılabilecek düzeyde özgül (spesifik) olmadığı düşünülmektedir.

Dorani ve diğerleri (2015) tarafından, bir değerlendirme ölçeği geliştirmek amacı ile yapılan çalışmada; Richmond (2000), Assaraf ve Orion’ın (2005) çalışmaları temel alınmıştır. Beceriler, değerlendirme yapılabilecek kadar birbirinden yalıtılmış olduğu düşünülen altı sınıfa ayrılmış, her beceri sınıfı için çeşitli sorular hazırlanmıştır. Beceri sınıflarının tamamının, Sistem Düşüncesi Temel Becerileri karşılıkları vardır. Ancak, beceri sınıfları arasında ilişki olmadığı varsayımı ile yapılmış olması nedeni ile çalışmanın, Temel Becerilerde bulunan, sistem yaklaşımını içermediği görülmüştür.

Hopper ve Stave (2007, 2008) tarafından yapılan çalışmalar aynı sistem düşüncesi bileşenlerini temel almıştır. Kapsamlı bir yayın taraması (21 yayın) sonucunda belirledikleri yedi sistem düşüncesi bileşenini, Bloom’un Yenilenmiş Bilişsel Alan Sınıflandırmasındaki düzeylerle eşleştirmişlerdir. Bileşenler, Sistem Düşüncesi



Şekil 8 - Sistem düşüncesi bileşenlerinin Bloom’un yenilenmiş bilişsel alan sınıflandırması ile eşleştirilmesi (Hopper ve Stave, 2007, 2008)

Temel Becerileri ile, bir beceri dışında, bire bir örtüşmektedir. Bileşenlerin içinde ayrı olarak belirtilmeyen, ancak varsayılan beceri, “nedensellik”tir. Sistem Düşüncesi Temel Becerileri içinde “nedensellik”, tüm yapının en temel taşıdır ancak ayrı bir beceri olarak tanımlanmamış, “nedensel ilişkiler “ içinde düşünülmüştür. Araştırmanın, eğitim çalışmalarını yönlendirmek gibi bir amacı olması nedeni ile, nedenselliğin anlaşılmasının özellikle önemlidir.

Plate ve Monroe (2014), öğrencilerin sistem düşüncesi düzeylerini değerlendirmek amacı ile, büyük ölçüde Hopper ve Stave’in yukarıda açıklanan çalışmasından aldıkları beceriler için dört düzey tanımlamışlardır: Temel Sistem Okuryazarlığının Altında (anlamama), Temel Sistem Okuryazarlığı (açıklama yapılırsa anlama), Orta Düzey Sistem Okuryazarlığı (açıklayabilme), İleri Düzey Sistem Okuryazarlığı (sayısal model kullanabilme). Çalışma, Hopper ve Stave’in beceri takımı üzerine kurulu olması nedeni ile, Sistem Düşüncesi Temel Becerilerine beceri olarak katkısı yoktur ancak, becerilerin değerlendirme aracına nasıl dönüştürülebileceği konusunda bir yaklaşım sunmaktadır. Ancak burada da, kullanılan yaklaşım oldukça genel görünmektedir. K-12 için geliştirilecek bir değerlendirme aracının her sınıf düzeyi için ayrı ayrı hazırlanması gerektiği düşünülmektedir. Aşağıda örneği verilen tabloda olduğu gibi, becerilerin hemen her sınıf için (döngüler ve sayısal modelleme dışında) karşılığı vardır. Ancak ölçeklenmeleri, uyarlanmaları gerekmektedir. Okul öncesi veya ilkokulda “artınca, artar” gibi bir nedensel ilişki, ortaokul ve lisede “ne kadar artınca, ne kadar artar” gibi oranlarla (veya grafiklerle) açıklanan sayısal ilişkilere dönüşür. Benzer biçimde, politika geliştirme, diğer bir deyişle çözüm bulma, okul öncesi ve lise için birbirinden farklıdır. Ancak her ikisinde de aynı “politika” becerisinden söz edilebilir.

		Öğretim Programı												
		ÖÖ	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
	Temel Beceriler													
1	nedensel ilişkiler	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓
2	sistemin ögeleri	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓
3	döngüler	?	?	?	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓
4	zaman boy.değ.	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓
5	kavram. model.	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓
6	sayısal model.				?	?	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓
7	çözüm	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓

Tablo 5 -Sistem Düşüncesi Temel Becerilerinin öğretim programındaki sınıflara göre uygulanabilirliği

Schaffernichta ve Groesser (2016), "Sistem dinamiklerini öğrenmek ve öğretmek için bir yetkinlik geliştirme çerçevesi" adlı çalışmalarında, Plate ve Monroe'ya benzer biçimde, Bloom'un Yenilenmiş Bilişsel Alan Sınıflandırmasından yararlanarak, sistem dinamikleri konusunda yetkinlik aşamalarını belirlemiştir. Bu çalışmada, Plate ve Monroe'dan farklı olarak, her beceri için dört yerine beş düzey belirlemişlerdir: Yeni başlayan, Deneyimli yeni başlayan, Yeterli, Yetkin, Uzman, Usta.

"Yetkin"den sonraki düzeylerin beceri gelişimi ile oluşmadığını kabul ederek, çalışmalarını "Yeni başlayan" ile "Yetkin" aralığında sınırlamışlardır. ("Yetkin" ile "Uzman" düzeyi arasındaki farkın, deneyimle oluştuğunu, "Uzman" ile "Usta" arasındaki farkı ise başkalarına aktarabilmenin belirlediğini kabul etmişlerdir.) Bu aralık için belirlenmiş olan beceriler, Sistem Düşüncesi Temel Becerileri ile uyumludur ancak sistem dinamikleri, yani sayısal modelleme üzerine bir çalışma olması nedeni ile, modelleme ile ilgili becerilerin daha öne çıkarıldığı; sistemin öğeleri, nedensel ilişki gibi becerilerin varsayıldığı görülmektedir. Daha sonra sistem dinamikleri konusunda usta olarak tanımladıkları on beş kişinin yanıtlarından yararlanarak, her beceri için, gelişim düzeylerine göre, öğrenme kazanımları tanımlamışlardır. Toplam 265 kazanım içeren liste, daha sonra yapılması planlanan Sistem Düşüncesi Temel Becerilerinin sınıflar düzeyinde kazanımlara dönüştürülmesi çalışmasında kaynak olarak kullanılabilir.

Bloom'un sınıflandırmasını temel alan çalışmaların beceri tanımları içinde, "birden çok nedensel döngünün olması" veya "sayısal modelleme" gibi konular bulunmaktadır. Bu durum, çalışmaların, öğrencilerin soyut işlemler döneminde olduğu varsayımı ile yapıldığı izlenimini oluşturmuştur. Daha okuma yazma bilmeyen bir çocuktan, sayısal model kurması beklenemez ancak yukarıdaki tablodan da görüleceği gibi zaman boyunca değişime, bu değişime neden olan akışlara göre oluşturduğu kavramsal modele göre, kendi yaşına uygun bir "çözüm" üretebilir.

Bir başka değerlendirme ölçeği çalışması da, Sweeney ve Sterman (2000) tarafından yapılmıştır. Çalışmanın girişinde sistem düşüncesine özgün en altı beceri tanımlanabileceği belirtilmiştir. Sistem Düşüncesi Temel Becerileri tanımlanan becerileri (Bkz. Ek 2) içermektedir. Temel Becerilerde olan ancak Sweeney ve Sterman tarafından listelenmemiş iki beceri vardır: "modelleme" ve "politika". Bu becerilerin, geliştirilen ölçeklerin kapsamı dışında tutulmuş olmaları nedeni ile listelenmedikleri düşünülmektedir.

Tu (1999) tarafından yapılan çalışmada; bazı sistem düşüncesi araçlarını (Zaman Boyunca Davranış Grafiği, Nedensel Döngü diyagramı, Sistem Kalıp Yapıları) anlamak ve kullanmak öğrenme kazanımı olarak tanımlanmıştır. Diğer çalışmalara göre, beceri sayısı yönünden oldukça kısıtlı olan çalışma, kazanım-araç ilişkisi kurması yönünden ilgi çekicidir.

Hung (2008) tarafından yapılan çalışmada, sistem düşüncesi eğitiminin, sistem düşüncesi becerilerinin gelişimine etkisi araştırılmıştır. Öğrencilerin seçtikleri

konuları eğitim öncesi ve sonrası görselleştirmeleri yönteminin kullanıldığı araştırmada, değerlendirme amacı ile, “sistem düşüncesi” ve “sistem modellemesi” başlıkları altında, toplam 13 beceri üzerinden değerlendirme yapılmıştır. Değerlendirme ölçütlerinin (beceriler), “sayısal modelleme” ağırlıklı olduğu, “kavramsal modelleme” konusunun beceri olarak tanımlanmadığı görülmektedir. Çalışmanın yüksek lisans üniversite öğrencileri ile yapılmış olması; değerlendirme ölçütlerinin bu düzeye uygun olarak geliştirilmiş olabileceğini, daha genç öğrencilerin veya” birlikte modelleme” (group model building) gibi sayısal olmayan (kavramsal) modelleme yöntemlerinin de kullanılabileceğinin dikkate alınmadığı düşünülmektedir.

Lisa ve diğerleri (2018) tarafından yapılan çalışma, sistem düşüncesini sürdürülebilirlik üzerinden üniversite öğrencilerine öğretmeye yönelik altı modüllük çevrim içi bir programın tanıtımını ve sonuçlarını içeriyor. Programın tasarımında kullanılan üç öğrenme hedefinin de (parçaları ve etkileştiğini açıklayabilmek, modelleme yapabilmek, bir sorunu değerlendirebilmek), oldukça genel olmakla birlikte, Sistem Düşüncesi Temel Becerileri karşılığı vardır. Öğrenme hedefleri, Temel Becerilerinde; Bütüncül Düşünce, Modelleme ve Politika olarak adlandırılan gruplara karşılık gelmektedir.

Sistem Düşüncesi Temel Becerileri, son olarak, Waters Center for Systems Thinking’in “Sistem Düşünürünün Alışkanlıkları” ile karşılaştırılmıştır. Karşılaştırmada Occam’ın usturası² olarak da bilenen “şeyler gereğinden fazla çoğaltılmamalıdır”, bir başka deyişle, “her şey eşitse, daha yalın olan açıklama seçilir” ilkesi kullanılmıştır. Sistem Düşüncesi Temel Becerileri, alışkanlıkların, üçü dışında, tümüne karşılık gelmektedir. Temel Beceriler ile ilişkilendirilmeyen alışkanlıklar (Farklı Bakış Açıları, Varsayımlar, Zihinsel Modeller), daha önce açıklandığı gibi, sistem düşüncesine “özgün” değil, çok daha temel becerilerdir.

Diğer yandan, her üç becerinin de, bütüncül düşüncenin oluşturulmasında “aracı beceriler olduğu düşünülmektedir: Sistem Düşüncesinin önünde sonunda amacı, farklı bakış açılarına neden olan varsayımları ve olguları ortaklaştırmak, farklı bakışlarını ortadan kaldırmak, herkesin her açıdan bakabilmesini sağlamaktır. Modelleme, farklı bakan kişi kalmayınca kadar, zihinsel modellerin görselleştirilerek birleştirilmesi olarak da tanımlanabilir.

Önceki paragraftaki düşünce, Karl Popper’ın bilim kuramlarının özelliklerinden biri olarak belirlediği şu sözle de uyumludur: “Her ‘iyi’ bilimsel kuram bir yasaklamadır: Belli şeylerin olmasını yasaklar. Ne kadar çok yasaklarsa, o kadar iyidir”

Sistem Düşüncesi Temel Becerileri, sistem düşüncesini “tanımlayacak” en az beceriden oluşmalıdır. Buna uygun olarak, sistem düşüncesinin amacı üzerinden, kısa ve uzun, iki tanım yapılabilir:

² Occam’ın Usturası, 14. yy. İngiliz mantık bilimcisi Ockham’lı William tarafından ileri sürülen bir ilkedir. Bu ilkeye göre, herhangi bir olguya ilişkin açıklama yapılırken en az sayıda varsayım, değişken ve kavram kullanılmalıdır. “Principle of parsimony” olarak da bilinen bu ilke pek çok bilimsel modeller ve teoriler için geçerlidir. Ayrıntılı bilgi için bkz: Wikipedia (t.y.).

Sistem düşüncesinin amacı; bütüncül düşünce ile oluşturulan modellerden politikaların üretilmesidir.

Sistem düşüncesinin amacı; sistemin ögeleri arasındaki nedensel ilişkiler ve bu ilişkilerin oluşturduğu nedensel döngüler sonucu oluşan zaman boyunca değişimin, kavramsal veya sayısal modellerle anlaşılabilir sürdürülebilir çözümler üretilmesidir.

Kaynaklar

- Arnold, R. D., & Wade, J. P. (2015). A definition of systems thinking: A systems approach. *Procedia Computer Science*, 44(2015), 669-678.
- Assaraf, O. B. Z., & Orion, N. (2005). Development of system thinking skills in the context of earth system education. *Journal of Research in Science Teaching: The Official Journal of the National Association for Research in Science Teaching*, 42(5), 518-560.
- Assaraf, O. B. Z., & Orion, N. (2010). System thinking skills at the elementary school level. *Journal of Research in Science Teaching: The Official Journal of the National Association for Research in Science Teaching*, 47(5), 540-563.
- Dorani, K., Mortazavi, A., Dehdarian, A., Mahmoudi, H., Khandan, M., & Mashayekhi, A. N. (2015). Developing Question Sets to Assess Systems Thinking Skills. In *Proceedings of the 33rd International Conference of the System Dynamics Society*, Cambridge, Massachusetts, USA.
- Gilbert, L. A., Gross, D. S., & Kreutz, K. J. (2019). Developing undergraduate students' systems thinking skills with an InTeGrate module. *Journal of Geoscience Education*, 67(1), 34-49.
- Hopper, M., & Stave, K. A. (2008). Assessing the effectiveness of systems thinking interventions in the classroom. In *26th International Conference of the System Dynamics Society*.
- Hung, W. (2008). Enhancing systems-thinking skills with modelling. *British Journal of Educational Technology*, 39(6), 1099-1120.
- Kennedy, D. (2007). *Writing and using learning outcomes: a practical guide*. University College Cork.
- Lee, T. D., Jones, M. G., & Chesnutt, K. (2019). Teaching Systems Thinking in the Context of the Water Cycle. *Research in Science Education*, 49(1), 137-172.
- Occam's razor.(t.y.). Wikipedia. Alıntı tarihi 7 Nisan, 2020, adresi: https://en.wikipedia.org/wiki/Occam%27s_razor
- Plate, R., & Monroe, M. (2014). A structure for assessing systems thinking. *The Creative Learning Exchange*, 23(1), 1-12.
- Popper, K. (2014). *Conjectures and refutations: The growth of scientific knowledge*. Routledge.
- Richmond, B. (1990). Systems thinking: a critical set of critical thinking skills for the 90s and beyond. *System dynamics*, 90, 935.
- Richmond, B. (2000). *The thinking in systems thinking - Honning your skills*. Pegasus Communications.
- Richmond, B., Peterson, S., Vescuso, P., & Maville, N. (1987). *An Academic user's guide to Stella Software*. High Performance Systems.
- Schaffernicht, M. F., & Groesser, S. N. (2016). A competence development framework for learning and teaching system dynamics. *System Dynamics Review*, 32(1), 52-81.
- Stave, K., & Hopper, M. (2007). What constitutes systems thinking? A proposed taxonomy. In *25th International Conference of the System Dynamics Society*.
- Sweeney, L. B., & Sterman, J. D. (2000). Bathtub dynamics: initial results of a systems thinking inventory. *System Dynamics Review: The Journal of the System Dynamics Society*, 16(4), 249-286. Chicago
- Tu, C. K. (1999) *The Meaning for 3-6 Grade Students Learning Systems Thinking*.
- Waters Center for Systems Thinking. (t.y.) *Habits of a Systems Thinker*. Erişim adresi <https://waterscenterst.org/systems-thinking-tools-and-strategies/habits-of-a-systems-thinker/>

Ekler

Ek 1 - Waters Foundation'dan Sheri Marlin ile 4 Şubat 2019 tarihli yazışmadan Sistem Düşünürü Alışkanlıkları ile ilgili bölüm ve Türkçe çevirisi

"...Here is some information about how they were developed. You are right that there are many lists of competencies and we did consult many of those in the development of the Habits. We revised them in 2015 and may revise again. To us the Habits represent a solid set of competencies that help define what a systems thinker does. Much like teaching is understood by what a teacher does. Systems thinking too is best defined by what a systems thinker does. Thus, the Waters Foundation action research study, while addressing the full range of topics surrounding systems thinking applied in schools reflects research on the Habits.

Barry Richmond was one of the most influential teachers in development of the Habits. The Habits were also influenced by the writing of Donella Meadows, in her book Thinking in Systems: A Primer; Draper Kauffman's book Systems 1: An introduction to systems thinking, which identifies 28 "rules of thumb" for systems thinking; Linda Booth Sweeney and Dennis Meadows "Ways of a Systems Thinker"; Art Costa and Bena Kallicks' Habits of Mind fueled the development of the specific aspects of thinking that were important to develop a sound understanding of complex systems; Peter Senge in The Fifth Discipline introduces the language of systems thinking, reflected in the Habits.

Perhaps some of the strongest evidence of the benefit of the Habits is in the scores of anecdotes gathered from learners who are applying them. These include preK-university students as well as business and industry leaders who ascribe their ability to better deal with complexity to daily application of systems thinking Habits and use of the language of the Habits within their unique settings."

Türkçe çeviri:

"...(Alışkanlıkların) Nasıl geliştirildikleri ile ilgili bilgi şöyle. Pek çok yeterlilik listesi olduğu konusunda haklısın ve Alışkanlıkların geliştirilmesinde biz de bunların pek çoğundan yararlandık. 2015 yılında güncelledik ve ileride yeniden güncelleyebiliriz. Bizim için Alışkanlıklar, bir sistem düşünürünün ne yaptığını tanımlamada yardımcı olan sağlam bir yeterlilikler takımı. Bu, öğretmen eyleminin, öğretmenin ne yaptığı üzerinden anlaşılması gibi. Sistem düşüncesi de en iyi, bir sistem düşünürünün ne yaptığı üzerinden tanımlanabilir. Bu nedenle Waters Foundation'ın eylem araştırma çalışması, sistem düşüncesinin okullarda uygulanması ile ilgili tüm konulara yönelik olmakla birlikte, Alışkanlıklar üzerine bir araştırmayı yansıtır.

Barry Richmond, Alışkanlıkların geliştirilmesinde en etkili olan olan öğretmenlerden biriydi. Alışkanlıklar; Donella Meadows'un "Thinking in Systems: A Primer", Draper Kauffman'ın sistem düşüncesi ile ilgili genel kabul görmüş 28 kuralı tanımladığı "Systems 1: An introduction to Systems Thinking", Linda Booth Sweeney ve Dennis Meadows'un "Ways of a Systems Thinker" kitaplarından etkilendi. Art Costa ve Bena Kallicks'in "Habits of Mind" kitabı; düşünmenin, karmaşık sistemlerin doğru anlaşılmasında önemli olan, özgül yönlerinin geliştirilmesini destekledi. Peter Senge'nin sistem düşüncesi dilini tanıttığı "The Fifth Discipline" kitabı Alışkanlıklara yansdı.

Alışkanlıkların yararlı olduğuna belki de en güçlü kanıt, bunları uygulayan öğrenenlerden toplanan pek çok öykü. Bunların arasında; karmaşıklıkla başa çıkma yeteneklerini, içinde bulundukları ortamda sistem düşüncesi Alışkanlıklarını günlük olarak uygulamaya ve Alışkanlıkların dilini kullanmaya dayandıran, okul öncesinden üniversiteye öğrenciler olduğu gibi işletme yöneticileri de var."

Ek 2 - Yayın/Beceri/Küme Tablosu: Yayınlardan geçen beceriler ve atandıkları kümeler

Yayın	Beceriler	Küme
Waters Center for Systems Thinking. (t.y.) Habits of a Systems Thinker. Erişim adresi https://waterscenterst.org/systems-thinking-tools-and-strategies/habits-of-a-systems-thinker/		
Büyük Resim		Bütüncül Düşünce
Zaman Boyunca Değişim		Dinamik Davranış
Sistemin Yapısı		Stoklar ve Akışlar
Karşılıklı Bağımlılıklar		Döngü / Geri Besleme
Bağlantılar		Karşılıklı İlişkiler
Farklı Bakış Açıları		değerlendirme dışı
Varsayımlar		değerlendirme dışı
Kapsamlı Düşünme		Bütüncül Düşünce
Zihinsel Modeller		değerlendirme dışı
Kaldıraç		Politika
Kısa ve Uzun Erimli Sonuçlar		Sayısal Modeller
Birikme		Stoklar ve Akışlar
Gecikmeler		Dinamik Davranış
Giderek Yaklaşma		Politika
Tu, C. K. (1999) The Meaning for 3-6 Grade Students Learning Systems Thinking.		
ZBDG (Zaman Boyunca Davranış Grafiği) anlamak ve kullanmak		Dinamik Davranış
NDD (Nedensel Döngü Diyagramı) anlamak ve kullanmak		Döngü / Geri Besleme
Sistem kalıp yapılarını (arketip) anlamak ve kullanmak		Döngü / Geri Besleme
Assaraf, O. B. Z., & Orion, N. (2005). Development of system thinking skills in the context of earth system education. Journal of Research in Science Teaching: The Official Journal of the National Association for Research in Science Teaching, 42(5), 518-560.		
sistem çözümlene becerileri: - sistemin bileşenlerini tanımlama - sistemin süreçlerini tanımlama		Parçalar ve Süreçler
Bileşenler arasındaki ilişkileri tanımlayabilme yeteneği Sistemin bileşenleri arasındaki dinamik ilişkileri tanımlayabilme yeteneği		Karşılıklı İlişkiler
Sistemlerin çevrimsel doğasını anlama yeteneği Bileşenleri düzenleme ve bir ilişki ağı içinde yerleştirme yeteneği Genelleme yapma yeteneği		değerlendirme dışı

sistemin gizli bileşenleri	değerlendirme dışı
sistemin zaman boyutu içinde algılanması - öngörü yapabilme (ileriye düşünme) yeteneği ve sistemin geçmişine bakabilme (geçmiş düşünme) yeteneği	

Sweeney, L. B., & Sterman, J. D. (2000). Bathtub dynamics: initial results of a systems thinking inventory. *System Dynamics Review: The Journal of the System Dynamics Society*, 16(4), 249-286. Chicago

Bir sistemin davranışının etkenlerinin karşılıklı ilişkilerden nasıl ortaya çıktığını anlar (=dinamik karmaşıklık)	Neden olarak Sistem
Sistem davranışının gözlemlenen örüntülerinin altında yattığı öne sürülen geri besleme süreçlerinin (negatif ve pozitif) bulur ve gösterir	Döngü / Geri Besleme
Stok ve akış ilişkilerini tanımlar	Stoklar ve Akışlar
Doğrusal olmama durumunu fark eder	Karşılıklı İlişkiler
Zihinsel ve biçimsel modellerin sınırlarını fark eder ve zorlar	Parçalar ve Süreçler

Stave, K., & Hopper, M. (2007). What constitutes systems thinking? A proposed taxonomy. In *25th International Conference of the System Dynamics Society*.

Karşılıklı Bağlantıları Fark Etmek - Bir sistemin parçalarını tanımlar - Parçalar arasında nedensel bağlantıları tanımlar - Parçaların sistemin bütünü oluşturduğunu fark eder - Sistemin, onu oluşturan parçalardan ve bağlantılarından oluştuğunu fark eder - Sistemin beliren, ortaya çıkan özelliklerini fark eder	Karşılıklı İlişkiler
Geri Beslemeyi Tanımlamak - Nedensel bağlantı zincirlerini fark eder - Kapalı döngüleri tanımlar - Bir bağlantının etkileme yönünü betimler - Bir bağlantının etkileme yönünü belirler	Döngü / Geri Besleme
Dinamik Davranışı Anlamak - Problemleri zaman boyunca davranış olarak açıklama - Davranışın yapının bir işlevi olduğunu anlar - Belli bir nedensel ilişkinin veya geri besleme döngüsünün davranışını açıklar - Birbirine bağlı geri besleme döngülerinin davranışını açıklar - Gecikmelerin etkilerini açıklar - Davranışa bakarak yapı ile ilgili çıkarımda bulunur	Dinamik Davranış
Değişken ve Akış Türlerinin Ayırt Edilmesi - Sistemin parçalarını işlevlerine göre sınıflar - Birikimleri akışlardan ayırt eder - Malzeme akışlarını bilgi akışlarından ayırt eder - Değişkenlerin ve akışların birimlerini tanımlar	Stoklar ve Akışlar
Kavramsal Modellerin Kullanımı - Bir probleme olası çözümler önermek için sistem yapısının kavramsal bir modelini kullanır	Kavramsal Modeller

Sayısal Modellerin Yaratılması	Sayısal Modeller
- Değişkenler arası ilişkileri, matematik terimleri olarak betimler - Çalışan bir model kurar - Modeli çalıştırır - Modelin geçerliliğini sınar	
Politikaların Sınanması	Politika
- Sistemin içinde müdahale yerlerini tanımlar - Değişimlerin etkileri ile ilgili önermelerde bulunur - Değişimin etkilerini sınamak için modeli kullanır - Modelin çıktısını probleme göre yorumlar - Model çözümlemesine dayanan politikalar tasarlar - Model çıktısını gerçek dünyada önerilerde bulunmak için nasıl kullanacağını anlar	
Hung, W. (2008). Enhancing systems-thinking skills with modelling. British Journal of Educational Technology, 39(6), 1099-1120.	
Önemli değişkenlerin tanımlaması	Parçalar ve Süreçler
Doğrusallık	Karşılıklı İlişkiler
Karşılıklı bağlantılılık	Karşılıklı İlişkiler
Neden-sonuç ilişkileri (nedensel-döngü)	Döngü / Geri Besleme
Geri besleme süreçleri (pozitif ve negatif)	Döngü / Geri Besleme
Dinamik süreçler	Dinamik Davranış
Bağlamsallaşma	Bütüncül Düşünce
Altta yatan mekanizmalar (açıklayıcı bilgi)	Sayısal Modeller
Nedensel döngü diyagramı ile benzetim (simülasyon) modeli arasındaki uyum	Sayısal Modeller
Neden-sonuç ilişkilerinin sayısal olarak doğru gösterimi	Sayısal Modeller
Benzetimde geri besleme etkilerinin (pozitif ve negatif) gösterilmesi	Sayısal Modeller
Beliren, ortaya çıkan özellikler	Sayısal Modeller
Benzetim (simülasyon) modelinin doğruluğu	Sayısal Modeller
Hopper, M., & Stave, K. A. (2008). Assessing the effectiveness of systems thinking interventions in the classroom. In 26th International Conference of the System Dynamics Society.	
Karşılıklı Bağlantıları Fark Etmek	Karşılıklı İlişkiler
Geri Beslemeyi Tanımlamak	Döngü / Geri Besleme
Dinamik Davranışı Anlamak	Dinamik Davranış
Akışları ve değişken türlerini ayırt etmek	Stoklar ve Akışlar
Kavramsal Modelleri Kullanmak	Kavramsal Modeller
Sayısal Modeller Yaratmak	Sayısal Modeller
Politikaları Sınamak	Politika
Assaraf, O. B. Z., & Orion, N. (2010). System thinking skills at the elementary school level. Journal of Research in Science Teaching: The Official Journal of the National Association for Research in Science Teaching, 47(5), 540-563.	
Bir sistemin bileşenlerini ve içindeki süreçleri tanımlama yeteneği	Parçalar ve Süreçler

Sistemin bileşenleri arasındaki basit ilişkileri tanımlama yeteneği	Karşılıklı İlişkiler
Sistemin içindeki dinamik ilişkileri tanımlama yeteneği	Karşılıklı İlişkiler
Sistemin bileşenlerini, süreçlerini ve etkileşimlerini bir ilişki çerçevesinde düzenleme yeteneği	Karşılıklı İlişkiler
Sistemin içindeki madde ve enerji çevrimlerinin - sistemlerin çevrimsel doğasını - tanımlama yeteneği	değerlendirme dışı
Sistemin gizli boyutlarını fark etme yeteneği - örüntüler ve karşılıklı ilişkiler yoluyla yüzeyde görülmeyen doğal olguları anlamak	değerlendirme dışı
Genelleme yapma yeteneği - problemleri sistemlerin mekanizmalarını anlayarak çözme	Bütüncül Düşünce
Zamansal düşünme yeteneği: Geçmişe bakmak ve öngörmek. gösterilen etkileşimin bazılarının geçmişte gerçekleştiğini, gelecekteki olayların bugünün etkileşimleri sonucu olacağını anlamak	Dinamik Davranış
Plate, R., & Monroe, M. (2014). A structure for assessing systems thinking. The Creative Learning Exchange, 23(1), 1-12.	
Karşılıklı Bağlantıları Fark Etmek	Karşılıklı İlişkiler
Geri Beslemeyi Tanımlamak	Döngü / Geri Besleme
Sistemleri Farklı Ölçeklerde Anlamak	Bütüncül Düşünce
Stokların ve Akışların Türlerini Ayırt Etmek	Stoklar ve Akışlar
Dinamik Davranışı Anlamak	Dinamik Davranış
Sayısal Modeller Yaratmak	Sayısal Modeller
Politikaların Sistem Düşüncesini İçermesi	Politika
Dorani, K., Mortazavi, A., Dehdarian, A., Mahmoudi, H., Khandan, M., & Mashayekhi, A. N. (2015). Developing Question Sets to Assess Systems Thinking Skills. In Proceedings of the 33rd International Conference of the System Dynamics Society, Cambridge, Massachusetts, USA.	
Dinamik Düşünme	Dinamik Davranış
Neden-Sonuç Düşüncesi	Karşılıklı İlişkiler
Neden-olarak-Sistem Düşüncesi	Neden olarak Sistem
Orman Düşüncesi (Bütünsel Düşünme)	Bütüncül Düşünce
Kapalı-Döngü Düşüncesi	Döngü / Geri Besleme
Stok-ve-Akış Düşüncesi	Stoklar ve Akışlar
Arnold, R. D., & Wade, J. P. (2015). A definition of systems thinking: A systems approach. Procedia Computer Science, 44(2015), 669-678.	
Karşılıklı Bağlantıları Fark Etmek	Karşılıklı İlişkiler
Geri Beslemeyi Tanımlamak	Döngü / Geri Besleme
Sistem Yapısını Anlamak	Stoklar ve Akışlar
Stokların ve Akışların Türlerini Ayırt Etmek	Stoklar ve Akışlar
Doğrusal Olmayan İlişkileri Tanımlama ve Anlama	Karşılıklı İlişkiler
Dinamik Davranışı Anlamak	Dinamik Davranış
Sistemleri Kavramsal Modelleyerek Karmaşıklığı Azaltma	Kavramsal Modeller

Sistemleri Farklı Ölçeklerde Anlamak	Bütüncül Düşünce
Schaffernicht, M. F., & Groesser, S. N. (2016). A competence development framework for learning and teaching system dynamics. <i>System Dynamics Review</i> , 32(1), 52-81.	
Sistem dinamikleri dili	Parçalar ve Süreçler
Dinamik uslamlama	Stoklar ve Akışlar
Model çözümleme	Sayısal Modeller
Sistem dinamikleri proje başlatma	Sayısal Modeller
Model yaratma	Sayısal Modeller
Modelin geçerliliğini sına	Sayısal Modeller
Politika değerlendirme ve tasarım	Politika
Gilbert, L. A., Gross, D. S., & Kreutz, K. J. (2019). Developing undergraduate students' systems thinking skills with an InTeGrate module. <i>Journal of Geoscience Education</i> , 67(1), 34-49.	
bir sistemin parçalarını tanımlamak ve parçaların nasıl etkileştiğini açıklamak	Parçalar ve Süreçler
veri ve örnekleri kullanarak karmaşık sistemleri modelleme becerileri kazanma	Sayısal Modeller
sosyal bir sorunu değerlendirmede sistem yaklaşımını uygulama	Politika
Lee, T. D., Jones, M. G., & Chesnutt, K. (2019). Teaching Systems Thinking in the Context of the Water Cycle. <i>Research in Science Education</i> , 49(1), 137-172.	
Çözümleme (analiz) Düzeyi: Sistem bileşenlerini ve süreçlerini tanımlama yeteneği	Parçalar ve Süreçler
Bireşim (sentez) Düzey: Bileşenler arasındaki ilişkileri tanımlama ve dinamik ilişkileri tanımlama yeteneği ve döngüsel düşünme	Karşılıklı İlişkiler
Uygulama Düzeyi: Gizli boyutlar olarak bilinen, yüzeyin altında veya atmosferde gerçekleşen süreçleri açıklama	değerlendirme dışı
Richmond, B. (1990). Systems thinking: a critical set of critical thinking skills for the 90s and beyond. <i>System dynamics</i> , 90, 935.	
Dinamik Düşünce	Dinamik Davranış
Genelleyici Düşünce	Bütüncül Düşünce
Yapısal Düşünce	Stoklar ve Akışlar
İşlemsel Düşünce	Stoklar ve Akışlar
Bilimsel Düşünce	Sayısal Modeller
Richmond, B. (2000). The thinking in systems thinking - Honning your skills. Pegasus Communications.	
orman-düşüncesi	Bütüncül Düşünce
neden-olarak-sistem düşüncesi	Neden olarak Sistem
dinamik düşünce	Dinamik Davranış
işlemsel düşünce	Stoklar ve Akışlar
kapalı-döngü düşüncesi	Döngü / Geri Besleme
nicel düşünce	Sayısal Modeller
bilimsel düşünce	Sayısal Modeller

Ek 3 - Bloom'un Sınıflandırmasına göre düzeyler ve ilgili iş (kılış) eylemleri (filleri)

Knowledge	Bilgi
arrange, collect, define, describe, duplicate, enumerate, examine, find, identify, label, list, memorise, name, order, outline, present, quote, recall, recognise, recollect, record, recount, relate, repeat, reproduce, show, state, tabulate, tell	düzenler, toplar, tanımlar, tanımlar, tekrarlar, sayar, inceler, bulur, tanımlar, etiketler, listeler, ezberler, isimlendirir, sıraya koyar, taslak oluşturur, sunar, aktarır, hatırlar, farkına varır, hatırlar, kaydeder, tarif, ilişkilendirir, yineler, yeniden yapar, gösterir, ifade eder, tablo haline getirir, söyler
Comprehension	Kavrama
associate, change, clarify, classify, construct, contrast, convert, decode, defend, describe, differentiate, discriminate, discuss, distinguish, estimate, explain, express, extend, generalise, identify, illustrate, indicate, infer, interpret, locate, paraphrase, predict, recognise, report, restate, rewrite, review, select, solve, translate	ilişkilendirir, değiştirir, netleştirir, sınıflar, kurar, iki şey arasında farkı bulur, dönüştürür, kod çözer, müdafaa eder, tanımlar, farklılaştırır, ayırt eder, tartışır, fark eder, değer biçer, açıklar, ifade eder, genişletir, geneller, tanımlar, örnekler, işaret eder, çıkarım yapar, yorumlar, yerleştirir, başka kelimelerle açıklar, tahmin eder, farkına varır, bildirir, yeniden belirler, yeniden yazar, gözden geçirir, ayırır, çözer, çevirir
Application	Uygulama
apply, assess, calculate, change, choose, complete, compute, construct, demonstrate, develop, discover, dramatise, employ, examine, experiment, find, illustrate, interpret, manipulate, modify, operate, organise, practice, predict, prepare, produce, relate, schedule, select, show, sketch, solve, transfer, use	uygular, değerlendirir, hesaplar, değiştirir, seçer, tanımlar, hesaplar, kurar, gösterir, geliştirir, keşfeder, dramatize eder, çalıştırır, inceler, dener, bulur, örnekler, yorumlar, idare eder, değişiklik yapar, işler, organize eder, pratik yapar, tahmin eder, hazırlar, üretir, ilişkilendirir, programlar, ayırır, gösterir, taslağını yapar, çözer, çevirir, kullanır
Analysis	Analiz
analyse, appraise, arrange, break down, calculate, categorise, classify, compare, connect, contrast, criticise, debate, deduce, determine, differentiate, discriminate, distinguish, divide, examine, experiment, identify, illustrate, infer, inspect, investigate, order, outline, point out, question, relate, separate, sub-divide, test	analiz eder, değerlendirir, düzenler, böler, hesaplar, kategorize eder, sınıflar, karşılaştırır, bağ kurar, iki şey arasında farkı bulur, eleştirir, tartışır, sonuç çıkarır, karşılaştırır, farklılaştırır, ayırt eder, fark eder, bölüştürür, inceler, dener, tanımlar, örnekler, çıkarım yapar, teftiş eder, araştırır, sıraya koyar, taslak oluşturur, işaret eder, sorgular, ilişkilendirir, ayırır, alt bölümlere ayırır, test eder, tartışır, düzenler
Synthesis	Sentez
argue, arrange, assemble, categorise, collect, combine, compile, compose, construct, create, design, develop, devise, establish, explain, formulate, generalise, generate, integrate, invent, make, manage, modify, organise, originate, plan, prepare, propose, rearrange, reconstruct, relate, reorganise, revise, rewrite, set up	toplar, kategorize eder, toplar, derler, birleştirir, oluşturur, kurar, yaratır, tasarlar, geliştirir, planlar, yerleştirir, açıklar, formüle eder, geneller, üretir, birleştirir, bulur, yapar, idare eder, değişiklik yapar, organize eder, meydana getirir, planlar, hazırlar, önerir, yeniden düzenler, yeniden kurar, ilişkilendirir, yeniden organize eder, gözden geçirip düzeltir, yeniden yazar, kurar
Evaluation	Değerlendirme
appraise, ascertain, argue, assess, attach, choose, compare, conclude, contrast, convince, criticise, decide, defend, discriminate, explain, evaluate, grade, interpret, judge, justify, measure, predict, rate, recommend, relate, resolve	değerlendirir, aslını öğrenir, tartışır, değerlendirir, ilişitir, seçer, karşılaştırır, sonuçlandırır, iki şey arasında farkı bulur, inandırır, eleştirir, karar verir, müdafaa eder, ayırt eder, açıklar, ölçer, sınıflandırır, yorumlar, yargılar, savunur, ölçer, tahmin eder, puanlar, tavsiye eder, ilişkilendirir, analizini yapar

Ek 4 - Plate ve Monroe (2014) Beceri - Düzey Değerlendirme Tablosu

	Temel Düzey Sistem Okuryazarlığının Altında	Temel Düzey Sistem Okuryazarlığı	Orta Düzey Sistem Okuryazarlığı	İleri düzey Sistem Okuryazarlığı
Beceri 1: Karşılıklı Bağlantıları Fark Etmek	Yalnızca doğrusal bağlantıları fark eder; önceki düşüncelerinde olmayan bağlantıları aramaz	Bir sistemin nedensel yapısını anlamak için doğrusal olmayan bağlantıları biraz kullanır; doğrusal olmayan nedensel yapılar konusunda sistem davranışı ile ilgili bir açıklanmayı anlayabilir	Bir sistemin nedensel yapısını anlamak için doğrusal olmayan pek çok bağlantı kullanır; önceki düşüncelerinde olmayan bağlantıları bulmaya çalışır; doğrusal olmayan nedensel yapılar ile sistem davranışı ile ilgili bir açıklanmayı yapabilir	Karmaşık sistemlerin, etkilerin içinde nasıl yayılacağı ile ilgili içgörüler sunan, sayısal bir modelini geliştirebilir
Beceri 2: Geri Beslemeyi Tanımlamak	Bir sistemde geri beslemenin rolünü hiç anlamama veya çok az anlama	Bir sistemdeki geri beslemenin temel rolünü anlar; sistem davranışının geri beslemeler ile yapılan bir açıklamasını anlayabilir	Karmaşık sistemlerde geri besleme döngülerini tanımlayabilir ve sistemin davranışını bu bağlamda açıklayabilir	Zamanın değişik noktalarında döngülerin değişen etkisini öngörmek için sayısal modellerde birden çok geri besleme döngüsü kullanabilir
Beceri 3: Sistemleri Farklı Ölçeklerde Anlamak	Sistem davranışını tek ölçekte (genellikle bireysel ve kısa erimli) yorumlar	Bir sistemin belli bir ölçek düzeyinde gözlenen davranışının, daha geniş ve daha dar ölçek düzeylerinden etkilendiğini anlar	Bir sistemin davranışını, çeşitli ölçeklerdeki değişkenlerin etkileşimleri olarak açıklar	Çeşitli ölçeklerdeki davranışsal etkileşimleri sayısal bir model içinde kullanır
Beceri 4: Stok ve Akış Türlerini Ayırt Etmek	Stoklar ve akışlar arasındaki ilişkiyi hiç anlamama veya çok az anlama	Stoklar ve akışlar arasındaki farkın kavramsal olarak anlama ve sistem davranışının birden çok stok arasındaki etkileşim olarak açıklanmasını izleyebilir	Stoklar ve akışlar arasındaki farkın kavramsal ve uygulamalı olarak anlama ve sistem davranışının bu anlayışa dayanarak yorumlama	Birden çok stok ve akış içeren bir model geliştirebilir ve modeli, sistemin davranışı ile ilgili geçerli çıkarımlar yapmak için kullanır

	Temel Düzey Sistem Okuryazarlığının Altında	Temel Düzey Sistem Okuryazarlığı	Orta Düzey Sistem Okuryazarlığı	İleri düzey Sistem Okuryazarlığı
Beceri 5: Dinamik Davranışı Anlamak	Bir sistem ile ilgili durağan bir zihinsel modeli vardır; zaman boyunca değişim fikrini kullanmaz	Sistemlerin zamanla değişmesi konusunda temel kavramsal bir anlayışı vardır; doğrusal olmayan nedensel yapılar, geri besleme ve stok ve akışlar ile sistemin davranışı konusunda yapılan açıklamaları anlayabilir	Sistemlerin zaman boyunca nasıl değiştiği konusunu, yavaş ve hızlı değişen değişkenler ve gecikmiş geri beslemeyi içerecek biçimde, bütünüyle bilir ve doğrusal olmayan nedensel yapılar, geri besleme ve stoklar ve akışlar kullanarak, sistem davranışı ile ilgili uygun bir sav geliştirebilir	Bir sistemin zaman boyunca nasıl değişebileceği ile ilgili savların sınanabileceği ve senaryoların denenebileceği sayısal modeller geliştirebilir
Beceri 6: Benzetim Modelleri Yaratmak	Bir bilgisayar benzetim modelinde davranışı yorumlayamaz; karmaşık sistemleri bir diyagramda gösteremez	Önceden hazırlanmış basit bir benzetimin davranışını yorumlayabilir ve sistemin yapısının davranışına nasıl katkıda bulunduğunu açıklar; birkaç stok ve akış içeren basit benzetim modelleri yaratabilir ve modeli sistemin davranışını açıklamada kullanabilir	Önceden hazırlanmış daha gelişmiş bir benzetimin davranışını sistemin yapısı bağlamında yorumlayabilir; sistemlerin zaman boyunca nasıl davranacağı konusunda uygun öngörüler yapabilecek kadar karmaşık benzetim modellerini yaratabilir; bilgisayar modelini; sistemin davranışı ile ilgili savları sınamak ve içgörüler oluşturmak için kullanır	Bir sistemi gözlemleyebilir ve pek çok stok ve akış içeren oldukça karmaşık sistemlerin benzetim modellerini yaratmak için gereken verileri toplayabilir; bilgisayar modelini; sistemin davranışı ile ilgili savları sınamak ve içgörüler oluşturmak için kullanır
Beceri 7: Poilkaların Sistem Düşüncesini İçermesini Sağlamak	Karar verirken sistemin karmaşıklığı ile ilgili anlayışı kullanmaz	Kişisel kararlarında sistem düşüncesini kullanır ve politikaların birden çok ölçekteki olası etkilerini fark eder	Kişisel kararlarında sistem düşüncesini kullanır ve sistem kavramlarını daha geniş politikaları değerlendirmek için kullanır; sayısal modellerin sonuçlarına dayanarak yapılan açıklamaları anlayabilir	Karmaşık sistemlerin sayısal modellerini geliştirebilir ve bunları, birbiri ile yarışan çeşitli politikalar ile ilgili geçerli çıkarımlar yapmak için araç olarak kullanabilir