

Fen Eğitiminde Kavramsal Yapıların Analizi: Doğal Dil İşleme Tabanlı Bir Çerçeve

Erhan Ceylan¹

Özet

Fen bilgisi eğitimi, doğası gereği öğrencilerin karmaşık bilimsel olguları zihinsel olarak inşa etmelerini, bu yapıları içselleştirmelerini ve nihayetinde bunları bilimsel dilin kendine özgü kuralları çerçevesinde ifade etmelerini gerektirir. Bu süreç, sadece bilginin aktarılmasını değil, üst düzey bilişsel becerilerin gelişimini de kapsar. Ancak mevcut eğitim sistemlerinde yaygın olarak kullanılan geleneksel değerlendirme yöntemleri (örneğin çoktan seçmeli testler), öğrencilerin yazılı çıktılarının (açık uçlu cevaplar, deney raporları, argümantasyon metinleri) içinde gizli olan bilişsel süreçleri, akıl yürütme zincirlerini ve dirençli kavram yanlışlarını geniş çapta analiz etmekte yetersiz kalmaktadır. Bu bölüm, yapılandırmacılık, bilişsel yük teorisi ve bilimsel argümantasyon çerçevesinde Doğal Dil İşleme (DDİ) teknolojilerinin fen eğitimine entegrasyonunu derinlemesine incelemektedir. Çalışma, DDİ'nin veri işleme için teknik bir araçtan daha fazlası olduğunu, öğrencilerin zihinsel modellerini ve karmaşık kavramsal ağlarını pedagojik bir arayüz aracılığıyla görünür kılan analitik bir çerçeve sunduğunu savunmaktadır. Ayrıca, herhangi bir karmaşık model eğitimi gerektirmeyen, anlamsal benzerlik prensibine dayalı kavramsal bir “Kavram Yanılgısı Tespiti” senaryosu aracılığıyla, bu teknolojinin sınıf içi öğretim ve biçimlendirici değerlendirme süreçlerine nasıl entegre edilebileceği somut olarak gösterilmektedir.

1. Giriş

21. yüzyıl becerileri bağlamında bilimsel okuryazarlık artık yalnızca tek tek bilgileri ezberlemekten ibaret değildir. Örneğin “su 100°C’de kaynar” bilgisini bilmek yeterli sayılmaz. Norris ve Phillips (2003), bilimsel okuryazarlığı; bilimsel metinleri okuyup anlamak, bilimsel iddiaları gerekçelendirmek, tahminlerde bulunmak ve kanıta dayalı açıklamalar geliştirmek gibi dil ve

1 Arş. Gör. Dr., Hatay Mustafa Kemal Üniversitesi, drceylaner@gmail.com, 0000-0002-5215-2781

düşünme süreçlerinin bütünü olarak tanımlar. Benzer şekilde Lemke (1990), fen öğrenimini bilim dilini konuşmayı ve yazmayı öğrenmek şeklinde açıklar. Bu bakış açısına göre öğrencinin bilimsel bilgiyi ne kadar anladığını en iyi, onun yazılı ya da sözlü ifadeleri gösterir. Öğrencinin bir kavramı (örneğin “fotosentez”) nasıl tanımladığı, başka kavramlarla (örneğin “enerji dönüşümü” veya “solunum”) nasıl ilişkilendirdiği, onun kavramsal anlama derinliğinin en açık göstergesidir.

Buna karşın, fen eğitimi araştırmaları ve sınıf içi uygulamalar, öğrenci düşünme süreçlerini niteliksel derinlikten ödün vermeden değerlendirmeyi mümkün kılan ölçeklenebilir yaklaşımların eksikliği nedeniyle önemli bir metodolojik sorunla karşı karşıyadır (Haudek vd.,2012; Nehm & Haertig, 2012). Bir öğretmenin, 30-40 kişilik sınıflarda her öğrencinin açık uçlu sorulara verdiği yanıtları, laboratuvar raporlarında yazdıkları veya proje ödevlerindeki argümantasyon hataları tek tek ve ayrıntılı biçimde incelemesi çok zordur. Hopfenbeck ve diğerleri (2023) biçimlendirici değerlendirmenin önündeki temel engellerden birinin, öğrencilerin niteliksel yanıtlarını büyük ölçekte sistematik olarak analiz edememek olduğunu ifade etmektedir. Açık uçlu cevaplara dayalı değerlendirmeler zaman, çaba ve alan uzmanlığı gereksinimi nedeniyle sınıf içi uygulamalarda sürdürülebilirlik sorunu yaratmaktadır. Buna karşılık, yüksek düzeyde ölçeklenebilir olmaları nedeniyle yaygın biçimde kullanılan çoktan seçmeli testler, öğrencilerin bir seçeneği neden tercih ettiklerini değil; sadece doğru ya da yanlış sonucu ölçmektedir. Bu durum, öğrencilerin kavram yanlışlarının altında yatan bilişsel nedenlerin görünmez kalmasına yol açmakta ve öğrenmenin yüzeysel bir şekilde değerlendirilmesine neden olmaktadır (Vosniadou, 2013). Dolayısıyla, geleneksel değerlendirme yaklaşımları ile Doğal Dil İşleme (DDİ) tabanlı analitik yöntemler arasındaki farkı kavramsal ve pedagojik düzeyde incelemek, bu metodolojik sorunun aşılması açısından önem taşımaktadır. Tablo 1, bu iki yaklaşım arasındaki temel paradigmatik farkları özetlemektedir.

Tablo 1: Geleneksel Değerlendirme ile Doğal Dil İşleme Tabanlı Değerlendirme Yaklaşımlarının Karşılaştırılması

Özellik	Geleneksel Değerlendirme (Çoktan Seçmeli / Manuel)	DDİ Tabanlı Değerlendirme
Odak Noktası	Sonuç odaklıdır. Doğru/Yanlış tespiti yapılır.	Süreç odaklıdır. Düşünme yapısı ve kavramsal bağlar analiz edilir.
Ölçeklenebilirlik	Düşüktür. Açık uçlu cevapların analizi öğretmen için büyük zaman maliyeti yaratır.	Yüksektir. Binlerce cevap saniyeler içinde analiz edilebilir.
Geri Bildirim	Gecikmelidir ve genellikle yüzeyseldir (Örn: “Notunuz: 65”).	Anlıktır ve ayrıntılıdır (Örn: “Hız ve Sürat kavramlarını karıştırıyorsunuz”).
Kavram Yanılgısı	Yanılgının varlığını tespit eder ama <i>nedenini</i> açıklayamaz.	Yanılgının dilsel ve anlamsal kökenini haritalandırabilir.

Bu bağlamda DDİ teknolojileri, öğretmenin niteliksel değerlendirme yükünü hafifleterek, her öğrenciye bireyselleştirilmiş, anlık ve ayrıntılı geri bildirim sağlama potansiyeli taşımaktadır. Nitekim sistematik incelemeler, fen eğitiminde eğitimsel veri madenciliği ve öğrenme analitiği alanlarının giderek artan biçimde benimsendiğini; bu alanların bir alt disiplini olarak yapay zekâ destekli DDİ uygulamalarının önemli bir araştırma ve uygulama alanı hâline geldiğini göstermektedir (Fayzullina vd., 2025).

DDİ, insan dilini matematiksel ve algoritmik temsillere dönüştürerek analiz etme, anlamlandırma ve üretme kapasitesi sayesinde, büyük veri ölçeğindeki öğrenci metinlerinin pedagojik açıdan anlamlı biçimde incelenmesine olanak tanımaktadır. Bu yönüyle DDİ, sadece değerlendirme sürecini hızlandıran bir otomasyon aracı olarak kalmayıp aynı zamanda öğrencilerin kavramsal yapılarının, düşünme süreçlerinin ve olası kavram yanılgılarının daha görünür kılınmasını sağlayan analitik bir destek mekanizması olarak değerlendirilebilir.

Bu bölümde, fen eğitiminde Doğal Dil İşleme (DDİ) teknolojilerinin kullanımı, yalnızca teknik bir otomasyon meselesi olarak değil; öğretmenlerin değerlendirme ve öğretimsel kararlarını destekleyen, yorumlanabilir pedagojik analiz araçları bağlamında ele alınmaktadır. Bu çalışma, DDİ'nin fen eğitimiyle ilişkilendirilebileceği kuramsal çerçeveleri tartışmayı ve bu teknolojilerin öğretim süreçlerinde anlamlı, güvenilir ve pedagojik temelli kullanımı için kavramsal bir zemin sunmayı amaçlamaktadır.

2. Kuramsal Çerçeve

Eğitim teknolojilerinin öğretim süreçlerindeki etkililiği, büyük ölçüde hangi öğrenme kuramsal çerçeveler üzerine temellendirildiğiyle ilişkilidir. Bu bağlamda, DDİ tabanlı analitik yaklaşımların, fen eğitiminin temelini oluşturan öğrenme kuramlarıyla anlamsal ve işlevsel açıdan önemli örtüşmeler sergilediği söylenebilir.

2.1. Yapılandırmacılık ve Kavramsal Ağlar

Piaget ve Cook (1952) ile Vygotsky'nin (1978) temellerini attığı yapılandırmacı yaklaşım, öğrenmeyi pasif bir bilgi alımı değil, bireyin yeni bilgiyi mevcut bilişsel şemaları üzerine aktif olarak inşa ettiği dinamik bir süreç olarak görür. Fen eğitiminde bu inşa süreci, kavramlar arası ilişkilerin kurulmasıyla gerçekleşir. Örneğin, bir öğrenci “kuvvet” kavramını öğrendiğinde, bunu zihnindeki “hareket”, “ivme” ve “enerji” kavramlarıyla ilişkilendirmelidir. Bu ilişkilerin bütünü, öğrencinin kavramsal ağını oluşturur.

DDİ, özellikle metin madenciliği, kavram haritalama ve ilişki çıkarımı teknikleri ile bu soyut zihinsel ağları somutlaştırabilir. Öğrencinin yazdığı bir paragrafta “kuvvet, hareketi başlatır” ifadesi, zihnindeki bir nedensellik bağıını gösterir. DDİ algoritmaları, metinlerdeki kelime birlikteliklerini ve sözdizimsel kalıpları analiz ederek, öğrencinin zihnindeki bilgi haritasının dijital bir ikizini çıkarabilir (Liu vd., 2016). Bu sayede öğretmen, öğrencinin hangi kavramlar arasında anlamlı bağlantılar kurabildiğini, hangi kavramları ise yeterince ilişkilendiremeden izole biçimde yapılandırdığını gözlemleyebilir.

Örnek olarak Şekil 1, bir öğrencinin zihnindeki kavramsal yapının metin yoluyla nasıl dışsallaştırıldığını ve DDİ'nin bu yapıyı nasıl modellediğini göstermektedir.

Şekil 1: Metinden Kavramsal Ağ Dönüştürme Süreci.



Şekil 1’de, sol tarafta öğrencinin yazdığı ham metin, ortada DDI algoritmasının çıkardığı “Varlıklar” ve “İlişkiler”, sağ tarafta ise oluşturulan dijital kavram ağı diyagramı yer almaktadır.

2.2. Bilişsel Yük Kuramı ve Metin İşleme

Sweller’in (1988) Bilişsel Yük Kuramı, öğrenme verimliliğinin, sınırlı kapasiteye sahip olan çalışma belleğinin nasıl kullanıldığıyla yakından ilişkili olduğunu ileri sürmektedir. Fen eğitimi bağlamında bilişsel yük, genellikle üç temel bileşen üzerinden ele alınmaktadır:

- **İçsel Yük:** Öğrenilecek içeriğin doğasından ve karmaşıklığından kaynaklanan bilişsel zorlanma (ör. kuantum mekaniği gibi soyut ve çok bileşenli konular).
- **Dışsal Yük:** Öğrenme materyalinin sunum biçiminden kaynaklanan ve öğrenmeye doğrudan katkı sağlamayan bilişsel zorlanma.
- **Etkili Yük :** Öğrencinin kavramsal şemalar oluşturmak ve bilgiyi yapılandırmak için harcadığı bilişsel çaba.

Fen ders kitapları ve akademik metinler, yoğun teknik terminoloji, uzun ve karmaşık cümle yapıları ve nominalizasyon (ör. “ölçmek” yerine “ölçüm”) gibi dil özellikleri nedeniyle öğrencilerde yüksek düzeyde dışsal bilişsel yük oluşturabilmektedir. Bu durum, öğrencilerin bilişsel kaynaklarının asıl kavramsal öğrenme sürecinden uzaklaştırır; yani öğrenciler metni çözümlemeye daha fazla enerji harcar, kavramları anlamaya daha az kaynak ayırabilir.

Bu noktada, DDI tabanlı otomatik okunabilirlik analizi ve metin basitleştirme yaklaşımları önemli bir destek mekanizması sunmaktadır. Sözcük nadirliği, cümle uzunluğu ve sözdizimsel karmaşıklık gibi dilsel özellikleri analiz edebilen DDI araçları, öğretim materyallerinin öğrencilerin bilişsel ve dilsel düzeylerine daha uygun hâle getirilmesine olanak tanımaktadır (Crossley vd., 2011). Böylece dışsal bilişsel yük azaltılarak, öğrencilerin sınırlı bilişsel kaynaklarını kavramsal yapılandırmaya ve anlamlı öğrenmeye yönlendirmeleri desteklenmektedir.

2.3. Bilimsel Argümantasyon ve Söylem Analizi

Toulmin’in (2003) argümantasyon modeli, fen eğitiminde bilimsel düşünmenin geliştirilmesi ve açıklama üretiminin düzenlenmesinde önemli bir kuramsal çerçeve sunmaktadır. Bu modele göre bilimsel bir açıklama, yalnızca “doğru” bir sonuca ulaşmakla sınırlı değildir; bir iddia, bu iddiayı destekleyen veriler ve veri ile iddia arasındaki ilişkiyi açıklayan gerekçeler

içermelidir. Araştırmalar, öğrencilerin özellikle bu bileşenler arasındaki ilişkileri kurmakta zorlandıklarını göstermektedir (Erduran vd., 2004).

Doğal Dil İşleme (DDİ) alanında geliştirilen argümantasyon madenciliği yaklaşımları (Lawrence & Reed 2019), öğrenci metinlerinde yer alan bu yapısal bileşenleri otomatik olarak belirlemeyi amaçlamaktadır. Bu tür algoritmalar, metin içindeki bağlaçlar (ör. çünkü, bu nedenle, -e göre) ve anlamsal akış örüntülerini dikkate alarak, bir yanıtın yalnızca bir iddia mı yoksa gerekçelendirilmiş bir argüman mı sunduğuna ilişkin analitik göstergeler üretebilmektedir (Mao vd., 2018).

Bu sayede, öğrencilerin yanıtlarına yönelik geri bildirimler yalnızca doğruluk düzeyine odaklanmakla kalmayıp, açıklamanın yapısal bütünlüğünü de kapsayacak biçimde zenginleştirilebilir. Örneğin, bir yanıt bilimsel olarak doğru olsa bile yeterli gerekçelendirme içermediğinde, sistem öğretmene veya öğrenciye “cevabında bir iddia bulunuyor; ancak bu iddiayı destekleyen gerekçeler yeterince açık değil” şeklinde biçimlendirici geri bildirim sunulmasına olanak tanıyabilir.

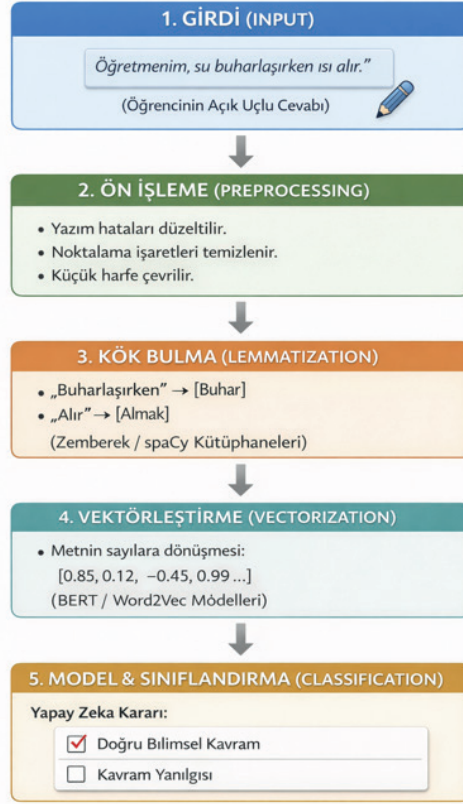
3. Yöntem: Fen Eğitiminde DDİ Tabanlı Analitik Yaklaşımlar

Fen eğitiminde DDİ uygulaması tasarlamak, öğrenci metinleri gibi ham dil verilerinin pedagojik olarak yorumlanabilir çıktılara dönüştürülmesini içeren çok aşamalı bir süreçtir. Bu alanda kullanılan DDİ teknolojileri, zaman içinde basit kural tabanlı sistemlerden, dilin bağlamsal özelliklerini dikkate alan daha gelişmiş ve esnek derin öğrenme tabanlı modellere doğru evrilmiştir.

3.1. Veri İşleme Aşamaları

DDİ analizi, öğrencinin yazdığı metnin bilgisayarın anlayabileceği matematiksel formatlara dönüştürülmesiyle başlar. Şekil 2, bu sürecin temel adımlarını göstermektedir.

Şekil 2: DDİ Analiz Akış Diyagramı.



1. **Girdi:** Öğrencinin açık uçlu soruya verdiği cevap.
2. **Ön İşleme:** Yazım hatalarının düzeltilmesi, noktalama işaretlerinin temizlenmesi.
3. **Kök Bulma:** “Buharlaşıp”, “Buharlaşıyor” kelimelerinin “Buhar” köküne indirgenmesi (Zemberek veya spaCy kütüphaneleri ile).
4. **Vektörleştirme:** Metnin sayısal matrislere dönüştürülmesi (BERT, Word2Vec ile).
5. **Model/Sınıflandırma:** Cevabın “Doğru”, “Kısmi Doğru” veya “Kavram Yanılgısı” olarak etiketlenmesi.

3.2. Vektör Uzayı Modelleri

Geleneksel bilgisayar sistemleri, kelimeleri çoğunlukla biçimsel özellikleri üzerinden, yani karakter dizileri olarak ele alır. Ancak DDİ alanında kullanılan Vektör Uzayı Modelleri (ör. Word2Vec, GloVe) kelimeleri çok

boyutlu uzayda sayısal vektörlere dönüştürülür. Bu yaklaşımın ayırt edici yönü, kelimeler arasındaki anlamsal ilişkilerin bu vektör uzayında göreceli yakınlıklar yoluyla yansıtılabilmesidir. Örneğin, eğitilmiş bir modelde, “kütle” kavramının temsil edildiği vektörün “kilogram” ile olan uzaklığı, ölçüm bağlamı açısından ilişkisiz bir kavram olan “metre” ile olan uzaklığa kıyasla daha düşük olma eğilimindedir (Mikolov vd., 2013). Bu teknoloji, fen eğitiminde öğrencilerin kullandıkları terimlerin bilimsel doğruluğunu ve kavramsal ilişkilerini incelemek amacıyla kullanılabilir. Örneğin, bir öğrencinin “enerji” kavramı yerine “güç” terimini tercih ettiği bir durumda, sistem bu iki kavram arasındaki vektörel yakınlığı dikkate alarak söz konusu kullanımın bağlama dayalı bir ifade tercihi mi yoksa olası bir kavramsal karışıklığın göstergesi mi olabileceğine ilişkin ipuçları sunabilir.

DDİ’de, kelimeler arasındaki ilişkiler anlamsal benzerlikler üzerinden ele alınmaktadır. Bu yaklaşım, kelimelerin çok boyutlu bir uzayda sayısal vektörler olarak temsil edilmesi sayesinde mümkün hâle gelmektedir.

Tablo 2: Örnek Bir Basitleştirilmiş Vektör Uzayı Matrisi

Kelime	Boyut 1 (Enerji Bağlamı)	Boyut 2 (Hareket Bağlamı)	Boyut 3 (Biyolojik Bağlam)
Hücre	0.05	0.03	0.97
Mitokondri	0.86	0.07	0.95
Kuvvet	0.15	0.95	0.08
İş	0.92	0.93	0.05

Tablo 2’de görüldüğü üzere, “mitokondri” kelimesi hem enerji hem de biyoloji boyutunda yüksek değere sahiptir. DDİ, öğrencinin “hücrede enerjiyi mitokondri üretir” cümlesini kurduğunda, bu vektörlerin matematiksel yakınlığını hesaplayarak ilişkinin doğruluğunu teyit eder.

3.3. Bağlamsal Dil Modelleri (Transformer Mimarisi)

2018 sonrası ortaya çıkan Transformer tabanlı dil modelleri (BERT, GPT, T5), DDİ alanında önemli bir değişimi beraberinde getirmiştir. Önceki modellerde, bir kelime genellikle bağlamdan bağımsız olarak tek bir vektörle temsil edilirdi; ancak bu modellerde, bir kelimenin anlamı, kullanıldığı cümle bağlamına bağlı olarak dinamik olarak oluşturulmaktadır. Örnek olarak “yüz” kelimesini ele alırsak, “suda yüzdüm.” ifadesinde bir eylemi; “yüz gram madde.” ifadesinde ise sayısal bir büyüklüğü temsil etmek gibi farklı anlamsal temsiller kazanabilmektedir.

Bu bağlamsal ayırım fen eğitimi açısından özellikle önemlidir. Mesela “kuvvet” kelimesi günlük dilde zorlama, güç anlamlarında kullanılabilirken, fizik bağlamında belirli bir tanımı ve matematiksel karşılığı olan bir büyüklüğü ifade eder. BERT gibi modeller, öğrencilerin bu tür kavramları günlük anlamıyla mı yoksa bilimsel terminolojiye uygun biçimde mi kullandıklarını ayırt etmede yüksek düzeyde duyarlılık göstermektedir (Devlin et al., 2019). Bu yönüyle söz konusu modeller, fen kavramları arasındaki ince ayrımların (ısı-sıcaklık, kütle-ağırlık, erime-çözünme) otomatik olarak analiz edilmesine yönelik güçlü analitik olanaklar sağlayabilir.

4. Kavramsal Uygulama Örneği: Kavram Yanılgısı Tespiti

4.1. Uygulamanın Amacı ve Kapsamı

Bu bölüm, teknik detaylara girilmeden, bir DDİ sisteminin fen sınıfında öğretmenin pedagojik kararlarını destekleyen bir yardımcı araç olarak nasıl çalışabileceğini göstermeyi amaçlamaktadır. Sunulan uygulama senaryosu, “kavram yanılgısı tespiti” üzerine kurgulanmıştır ve herhangi bir model eğitimi gerektirmeyen, önceden eğitilmiş dil temsillerine dayalı ve benzerlik temelli bir yaklaşımın kavramsal bir örneğini sunmaktadır.

4.2. Örnek Problem Durumu: Isı ve Sıcaklık

Isı ve sıcaklık kavramlarının karıştırılması, fen eğitiminde sıklıkla karşılaşılan ve en dirençli yanılgılardan biridir (Aydoğan, Güneş & Gülçiçek, 2003; Ecevit & Şimşek, 2017). Bu tür bir kavramsal karışıklığı tespit etmek için öğrencilere şu soru yöneltilmiştir:

“Sıcak bir günde metal bir bankın, tahta bir banka kıyasla daha sıcak hissedilmesinin nedeni nedir? Açıklayınız.”

4.3. Veri Seti ve Etiketleme

Uygulama senaryosunda, öğrencilerin yanıtlarının yorumlanmasına rehberlik etmek üzere alan uzmanı öğretmenler tarafından temsili bir referans cevap seti oluşturulmuştur (Tablo 3). Bu set, herhangi bir model eğitimi veya performans karşılaştırmasından ziyade öğrenci yanıtlarının en çok hangi kavramsal kategoriye benzediğini belirlemek için kullanılmıştır. Referans yanıtlar, fen eğitimi literatüründe sıklıkla bildirilen açıklama türlerini ve yaygın yanılgıları yansıtacak şekilde yapılandırılmıştır.

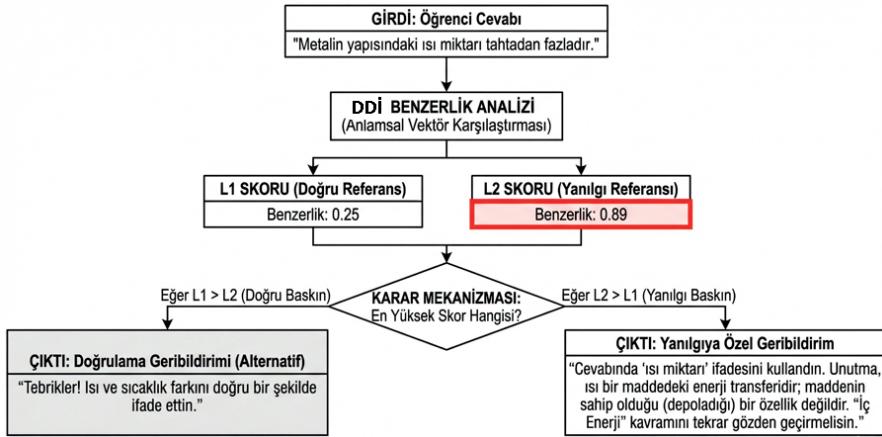
Tablo 3: Referans Cevap Seti ve Etiketleme Şeması

Kategori Kodu	Etiket Adı	Referans Cümle Örneği (Model İçin)
L1	Bilimsel doğru	“Metal ısıyı tahtadan daha hızlı iletir, bu yüzden elimizden metale daha hızlı ısı geçişi olur.”
L2	Yanılıgı: Isı/Sıcaklık Eşitlemesi	“Metalin ısısı tahtadan daha yüksektir, o yüzden sıcak gelir.”
L3	Yanılıgı: Soğukluk Transferi	“Metal soğuğu daha az tutar, tahta soğuğu çeker.”
L4	İlgisiz / Boş	“Metal banklar parklarda daha çok bulunur.”

4.4. Analiz Sonuçları ve Geribildirim

Sistem, öğrenci yanıtlarının oluşturulan vektörel temsillerini, referans cümlelerin vektörleriyle kosinüs benzerlik metriği kullanarak karşılaştırır ve her bir yanıtın hangi kavramsal kategoriye daha yüksek anlamsal yakınlık gösterdiğini belirten bir eşleşme üretir.

Şekil 3: Otomatik Geribildirim Mekanizması.



Şekil 3, sistemin öğrenci yanıtlarını analiz ederken izlediği karar destek sürecini şematik olarak göstermektedir. Örnek senaryoda bir öğrencinin “metalın yapısındaki ısı miktarı tahtadan fazladır.” şeklindeki yanıtı analiz edildiğinde, sistem tarafından öğrenci yanıtının vektörel temsili ile referans kategorilerine ait vektörler arasındaki anlamsal benzerlikler hesaplanmış ve aşağıdaki sonuçlar elde edilmiştir:

L1 (Doğru) ile Benzerlik: 0.25

L2 (Yanlış) ile Benzerlik: 0.89

Bu sonuçlar doğrultusunda sistem 0.89 skorunu baz alarak yanıtın L2 kategorisine yüksek anlamsal yakınlık gösterdiğini işaret etmiş ve öğretmen tarafından düzenlenebilir şekilde aşağıdaki örnek geri bildirimi önermiştir:

“Cevabında ‘ısı miktarı’ ifadesini kullandın. Unutma, ısı bir maddedeki enerji transferidir; maddenin sahip olduğu (depoladığı) bir özellik değildir. ‘İç Enerji’ kavramını tekrar gözden geçirmelisin.”

5. DDİ Tabanlı Analitik Yaklaşımın Fen Eğitiminde Konumlandırılması

Bu çalışmada ele alınan Doğal Dil İşleme tabanlı analitik yaklaşım, fen eğitiminde ölçme ve değerlendirme süreçlerini otomatikleştirmeyi amaçlayan bir sistem olarak değil; öğretmenin pedagojik karar alma süreçlerini destekleyen kavramsal bir analiz aracı olarak ele alınmaktadır (Roschelle vd., 2020). Bu bağlamda DDİ, öğrenme çıktılarının doğrudan sınıflandırılmasından ziyade, öğrencilerin kavramsal düşünme biçimlerine yönelik göstergeler sunmayı hedeflemektedir.

Fen bilimleri öğretiminde açık uçlu sorular, öğrencilerin kavramsal yapılarının ve bilimsel akıl yürütme becerilerinin ortaya çıkarılmasında önemli bir rol oynamaktadır. Bununla birlikte, bu tür yanıtların sistematik biçimde analiz edilmesi, özellikle kalabalık sınıflarda öğretmenler için ciddi bir zaman ve bilişsel yük oluşturmaktadır (Liu vd., 2016). DDİ tabanlı analizler, bu noktada öğretmene ön değerlendirme niteliğinde özetleyici ve betimleyici çıktılar sunarak değerlendirme sürecini kolaylaştırıcı ve destekleyici bir işlev üstlenmektedir.

Bu yaklaşım, yapılandırmacı öğrenme kuramı ile uyumlu olup, öğrencilerin ön bilgileri, kavramlar arası kurdukları ilişkiler ve bu ilişkileri dilsel olarak nasıl ifade ettikleri, öğrenme sürecinin merkezinde konumlandırılmaktadır. Bu bağlamda DDİ çıktıları, öğrencinin neyi bildiğinden çok, bilgiyi nasıl yapılandığına ilişkin ipuçları sunması bakımından pedagojik açıdan anlamlı bir potansiyel taşımaktadır (Sherin, 2013).

5.1. Kavramsal Mimari Haritasının Açıklanması

Bu çalışmada önerilen DDİ tabanlı kavramsal mimarinin temel bileşenlerini ve bu bileşenler arasındaki pedagojik ilişkiler şekil 4’te gösterilmektedir. Söz konusu diyagram, doğrusal ve tek yönlü bir işlem hattını betimlemekten

ziyade; öğretmen, öğrenci ve analitik çıktılar arasında kurulan etkileşimsel ve yorumlayıcı bir analiz sürecini temsil etmektedir.

Şekil 4: DDİ Tabanlı Kavramsal Mimari Haritası.



Şeklin ilk bileşeni, öğrenci tarafından üretilen açık uçlu metinlerdir. Bu metinler, öğrencinin kavramsal bilgi düzeyini, bilimsel dili kullanma biçimini ve argümantasyon becerisini yansıtan temel veri kaynağını oluşturmaktadır. İkinci aşamada, bu metinler çeşitli DDİ teknikleri aracılığıyla analiz edilmekte; sözcüksel sıklık, anlamsal yakınlık, bağlamsal kullanım ve argümantasyon yapıları gibi göstergeler elde edilmektedir.

Üçüncü bileşen, elde edilen bu analitik göstergelerin fen eğitimine özgü öğrenme kuramlarıyla ilişkilendirilmesini kapsamaktadır. Bu aşama, DDİ'nin teknik bir analiz aracı olmaktan çıkarak pedagojik anlam kazandığı kritik noktayı temsil etmektedir. Analitik çıktılar, yapılandırmacı öğrenme, kavramsal değişim ve bilimsel argümantasyon gibi kuramsal çerçeveler ışığında yorumlanmaktadır. Son aşamada ise öğretmen, bu göstergeleri pedagojik yargısıyla birleştirerek öğretim sürecine yönelik kararlar almaktadır.

Bu kararlar, öğretim stratejilerinin uyarlanması, belirli kavramlara yeniden odaklanması veya biçimlendirici geri bildirimlerin yapılandırılması gibi uygulamaları içerebilmektedir.

Bu bütüncül yapı, DDİ'nin öğretmenin yerini alan bir değerlendirme mekanizması olmadığını; aksine öğretmenin yorumlayıcı ve yönlendirici rolünü güçlendiren bir pedagojik destek aracı olarak konumlandırıldığını ortaya koymaktadır.

6. Sonuç

Bu çalışmanın sunduğu kavramsal çerçeve, fen eğitiminde öğretmenin pedagojik rolünü yeniden tanımlamayış değil; mevcut öğretim ve değerlendirme pratiklerini dijital analitik araçlarla desteklemeyi hedeflemektedir. DDİ tabanlı analizler, öğretmenin öğrencilerdeki düşünme süreçlerini daha sistematik biçimde izlemesine olanak tanırken, nihai olarak yorumlama ve pedagojik karar alma sorumluluğunu öğretmende bırakmaktadır.

Bu yaklaşımın özellikle biçimlendirici değerlendirme bağlamında işlevsel olabileceği düşünülmektedir (Mao vd., 2018). Öğrenci metinlerinden elde edilen göstergeler, öğretmenlerin yeniden odaklanmaları gereken kavramları belirlemelerine ve öğretim sürecindeki müdahale noktalarını daha görünür hale getirmelerine yardımcı olabilir. Bu bakımdan DDİ, değerlendirmeyi sonuç odaklı bir süreç olarak değil, öğrenmeyi destekleyen dinamik bir bileşen olarak ele alma imkanı sunar.

Fen eğitiminde DDİ kullanımının, eğitim teknolojileri açısından önemli bir potansiyele işaret ettiği söylenebilir. Bu teknolojiler, kalabalık sınıf ortamlarında bile, biçimlendirici değerlendirmenin daha uygulanabilir ve sürdürülebilir bir şekilde yapılmasına katkıda bulunabilir (Mao vd., 2018). DDİ destekli gösterge panelleri aracılığıyla öğretmenler sınıfın genel kavramsal eğilimlerini izleyebilir, ders sırasında belirli konularda yaygın olarak görülen yanlış anlamaları tespit edebilir ve öğretim stratejilerini buna göre uyarlayabilirler (Haudek vd., 2012).

Bununla birlikte, DDİ'nin öğretim süreçlerine entegrasyonu bazı etik ve pedagojik riskleri de beraberinde getirmektedir (Holmes vd., 2019). Özellikle algoritmik önyargı, bu tür sistemlerin kullanımında dikkatle ele alınması gereken temel sorunlardan biridir (Baker & Hawn, 2022). DDİ modellerinin çoğunlukla standart ve akademik dil kalıpları üzerinden geliştirilmesi, yerel ağızları kullanan, dilbilgisel açıdan standart dışı ancak kavramsal olarak doğru ifadeler üreten öğrencilerin yanlış biçimde etiketlenmesi riskini doğurabilmektedir (Mayfield vd., 2019). Ayrıca bu sistemler, dilin anlamsal derinliğini doğrudan anlamaktan ziyade, istatistiksel

örüntüler üzerinden analiz ettiğinden, pedagojik bağlamda alışılmadık veya yaratıcı metaforları yorumlamada sınırlılıklar gösterebilirler.

Sonuç olarak, Doğal Dil İşleme teknolojileri, fen eğitiminde öğrencilerin zihinsel süreçlerini tamamen şeffaf hale getiren araçlar olarak görülmemelidir. Bunun yerine, bu teknolojiler, öğretmenlerin öğrencilerin düşüncelerindeki kavramsal örüntüleri daha görünür hale getirmelerine yardımcı olan analitik destek mekanizmaları olarak düşünülebilir (Lee vd., 2021). Gelecekteki çalışmaların, metin tabanlı analizlerin ötesine geçerek, öğrencilerin çizimlerini, diyagramlarını ve sözlü açıklamalarını da kapsayan çok modlu yapay zeka sistemlerine doğru ilerlemesi beklenmektedir (Giannakos vd., 2019). Bu tür sistemlerin, öğretmenlerin yerini alan yapılar olarak değil, veriye dayalı kanıtlarla öğretmenin pedagojik sezgisini güçlendiren akıllı yardımcılar olarak tasarlanması önemlidir (Molenaar, 2021).

Kaynakça

- Aydoğan, S., Güneş, B., & Gülçiçek, Ç. (2003). Isı ve sıcaklık konusunda kavram yanlışları. *Gazi Üniversitesi Gazi Eğitim Fakültesi Dergisi*, 23(2).
- Baker, R. S., & Hawn, A. (2022). Algorithmic bias in education. *International Journal of Artificial Intelligence in Education*, 32(4), 1052–1092.
- Crossley, S. A., Allen, D. B., & McNamara, D. S. (2011). Text readability and intuitive simplification: A comparison of readability formulas. *Reading in a Foreign Language*, 23(1), 84–101.
- Devlin, J., Chang, M. W., Lee, K., & Toutanova, K. (2019, June). Bert: Pre-training of deep bidirectional transformers for language understanding. In Proceedings of the 2019 conference of the North American chapter of the association for computational linguistics: human language technologies, volume 1 (long and short papers) (pp. 4171-4186).
- Ecevit, T., & Şimşek, P. Ö. (2017). Öğretmenlerin fen kavram öğretimleri, kavram yanlışlarını saptama ve giderme çalışmalarının değerlendirilmesi. *İlköğretim Online*, 16(1).
- Erduran, S., Simon, S., & Osborne, J. (2004). TAPping into argumentation: Developments in the application of Toulmin's argument pattern for studying science discourse. *Science education*, 88(6), 915-933.
- Fayzullina, A. R., Filippova, A. A., Garnova, N. Y., Astakhov, D. V., Kalmazova, N., & Zaripova, Z. F. (2025). *Artificial intelligence in science education: A systematic review of applications, impacts, and challenges*. *Contemporary Educational Technology*, 17(4), ep613. <https://doi.org/10.30935/cedtech/17519>
- Giannakos, M. N., Sharma, K., Pappas, I. O., Kostakos, V., & Velloso, E. (2019). Multimodal data as a means to understand the learning experience. *International Journal of Information Management*, 48, 108-119.
- Haudek, K. C., Prevost, L. B., Moscarella, R. A., Merrill, J., & Urban-Lurain, M. (2012). What are they thinking? Automated analysis of student writing about acid–base chemistry in introductory biology. *CBE—Life Sciences Education*, 11(3), 283-293.
- Holmes, W., Bialik, M., & Fadel, C. (2019). *Artificial intelligence in education promises and implications for teaching and learning*. Center for Curriculum Redesign.
- Hopfenbeck, T. N., Zhang, Z., Sun, S. Z., Robertson, P., & McGrane, J. A. (2023, November). Challenges and opportunities for classroom-based formative assessment and AI: a perspective article. In *Frontiers in Education* (Vol. 8, p. 1270700). Frontiers Media SA.
- Lawrence, J., & Reed, C. (2019). Argument mining: A survey. *Computational linguistics*, 45(4), 765-818.

- Lee, H. S., Gweon, G. H., Lord, T., Paessel, N., Pallant, A., & Pryputniewicz, S. (2021). Machine learning-enabled automated feedback: Supporting students' revision of scientific arguments based on data drawn from simulation. *Journal of Science Education and Technology*, 30(2), 168-192.
- Lemke, J. L. (1990). *Talking science: Language, learning, and values*. Ablex Publishing.
- Liu, O. L., Rios, J. A., Heilman, M., Gerard, L., & Linn, M. C. (2016). Validation of automated scoring of science assessments. *Journal of Research in Science Teaching*, 53(2), 215-233.
- Mao, L., Liu, O. L., Roohr, K., Belur, V., Mulholland, M., Lee, H. S., & Pallant, A. (2018). Validation of automated scoring for a formative assessment that employs scientific argumentation. *Educational Assessment*, 23(2), 121-138.
- Mayfield, E., Madaio, M., Prabhumoye, S., Gerritsen, D., McLaughlin, B., Dixon-Román, E., & Black, A. W. (2019, August). Equity beyond bias in language technologies for education. In *Proceedings of the fourteenth workshop on innovative use of NLP for building educational applications* (pp. 444-460).
- Mikolov, T., Chen, K., Corrado, G., & Dean, J. (2013). Efficient estimation of word representations in vector space. *arXiv preprint arXiv:1301.3781*.
- Molenaar, I. (2021). Personalisation of learning: Towards hybrid human-AI learning technologies. *Blockchain, and Robots*, 57-77.
- Nehm, R. H., & Haertig, H. (2012). Human vs. computer diagnosis of students' natural selection knowledge: testing the efficacy of text analytic software. *Journal of Science Education and Technology*, 21(1), 56-73.
- Norris, S. P., & Phillips, L. M. (2003). How literacy in its fundamental sense is central to scientific literacy. *Science education*, 87(2), 224-240.
- Piaget, J., & Cook, M. (1952). *The origins of intelligence in children*. New York: International universities press.
- Roschelle, J., Lester, J., & Fusco, J. (2020). AI and the Future of Learning: Expert Panel Report. *Digital Promise*.
- Sherin, B. (2013). A computational study of commonsense science: An exploration in the automated analysis of clinical interview data. *Journal of the Learning Sciences*, 22(4), 600-638.
- Sweller, J. (1988). Cognitive load during problem solving: Effects on learning. *Cognitive Science*, 12(2), 257-285.
- Toulmin, S. E. (2003). *The uses of argument*. Cambridge University Press.
- Vosniadou, S. (2013). Conceptual change in learning and instruction: The framework theory approach. *International handbook of research on conceptual change* (pp. 11-30). Routledge.
- Vygotsky, L. S. (1978). *Mind in society: The development of higher psychological processes*. Harvard University Press.