



Eğitim Fakültesi Dergisi

<http://kutuphane.uludag.edu.tr/Univder/uufader.htm>

Öğretim Elemanlarının Atwood Aleti Problemi Çözüm Stratejilerinin Prakseolojik Analizi

Ahmet Yavuz, Gökhan Özdemir

*Niğde Üniversitesi Eğitim Fakültesi, İlköğretim Bölümü
ahmetyavuz43@gmail.com*

Özet. Bu araştırmanın amacı, Newton Mekaniğinin alışılmış ve evrensel problemlerinden biri olan Atwood Aleti problemine ilişkin öğretim elemanlarının çözüm stratejilerini ve tutarlılıklarını analiz etmektir. Araştırmada kullanılan veriler İngilizce başta olmak üzere çeşitli dillerde internet üzerinde yayınlanmış 30 öğretim elemanının çözümleridir. Çözümler nitel olarak Prakseolojik Analiz yöntemiyle analiz edilmiştir. Araştırma sonucunda, üç farklı çözüm stratejisi tespit edilmiştir. Atwood Aleti probleminin doğasındaki zorluktan kaynaklanan çözümü basitleştirme eğilimi çözümlerdeki bazı güçlükleri ve iç tutarsızlıkları ortaya çıkarmıştır. Öğretim elemanlarının izledikleri problem çözüm stratejilerinin değişik basamaklarında tutarlı olmadıkları gözlenmiştir. Bu stratejilerin, öğrencilerin anlamlı ve tutarlı bir problem çözme stratejisi geliştirmesine izin vermeyen nitelikte olduğu sonucuna varılmıştır. Bu araştırmanın sonuçları tartışılmış ve anlamlı bir çözüm için farklı stratejiler önerilmiştir.

Anahtar Kelimeler: Atwood Aleti Problemi, Problem Çözme Stratejileri, Öğretim Elemanı Çözümleri, Anlamlı Öğrenme, Prakseolojik Analiz.

Abstract. The purpose of this study is to analyze instructors' problem solving strategies about Atwood's Machine that is one of the common and universal problem of Newtonian Mechanics. The data used in this study is 30 instructors' solutions published online in various languages particularly in

English. The solutions are qualitatively analyzed with Praxeological Analysis. As a result, three different solution strategies are determined. Because of the difficult nature of the Atwood's Machine problem, the tendency for the simplification of the solutions results in some difficulties and internal inconsistencies in the solutions. It is observed that the instructors are not consistent in their strategies followed in different steps of the solutions. As a consequent, these strategies do not let students develop meaningful and internally consistent problem solving strategies. The results of this study are discussed with the suggestions about different strategies for a meaningful solution.

Key Words: Atwood's Machine Problem, Problem Solving Strategies, Instructors' Solutions, Meaningful Learning, Praxeological Analysis.

GİRİŞ

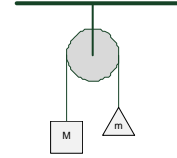
Fizik eğitiminde fiziksel yasaların problem çözümlerinde kullanılması, öğrencilerin teorik bilgileri ne kadar kullanabildiklerini tespit etmeye yaramaktadır (Dumas-Carré & Goffard, 1997). Anlamalı öğrenmenin gerçekleşmesi için, problem çözme rutin bir etkinlik olarak değil, bilimsel bilgiler veya kavramlar arasındaki ilişkileri kurmayı hedefleyen, çok halkalı mantıksal bir zincir olarak düşünülmelidir (Reif, 1995). Bir problem, başlangıç durumu ve hedef durumu olmak üzere zincirin iki ucu arasında kat edilmesi gereken mesafedir (Fabre, 1999; Johsua & Dupin, 1999; Leonard, Dufresne, & Mestre, 1996; Newell & Simon, 1972; Özsoy, 2005; Reif, 1983; Reif, Larkin, & Brackett, 1976). Bir problemin çözümü ise bu iki durum arasındaki yolun kurulmasıdır (Reif, 1995). Problem çözme genellikle bir güçlüğü ifade eder, çünkü bu iki durum arasındaki geçiş kendiliğinden ve basit değildir (Fabre, 1999).

Bir fizik problemi anlamalı öğrenmeyi sağlayacak değişik stratejilerle çözülebilir. Diğer bir ifadeyle problemin başlangıç noktasından hedef noktaya farklı şekillerde ulaşılabilir. Leonard ve diğerlerine (1996) göre bir fizik problemini çözmek için öncelikle fizik yasası belirlenir, niçin yasanın kullanılacağı açıklanır ve yasayı kullanmak için çözüm basamakları oluşturulur. Dhillon'a (1998) göre öncelikli olarak bir planlama yapılır, problem plan doğrultusunda alt problemlere ayrıştırılır ve çözüm nicel olarak oluşturulup kontrol edilir. Heler, Keith ve Anderson'a (1992) göre problem öncelikle görselleştirilir, fiziksel büyüklüklerle tasvir edilir, bir çözüm planı oluşturularak gerçekleştirilir ve çözüm kontrol edilir. Reif'e (1995) göre ise problem nitel olarak analiz edilip çözüm nicel olarak oluşturulur ve çözüm kontrol edilir. Bu basamaklar daha da detaylandırılabilir. Örneğin Çalışkan,

Selçuk ve Erol (2006) tarafından geliştirilen Fizik Problemlerini Çözme Değerlendirme Formu'nda olduğu gibi problemi çözmek için verilenler ve istenilenler yazılır, şekil ve diyagram gibi çoklu gösterimlerden faydalanılır ve ilgili yasa kullanılarak çözüm elde edilir. Her ne kadar bir fizik probleminin çözümünde izlenilecek farklı stratejiler önerilse de, çözümün tutarlılığı için fizik yasaları doğru olarak kullanılmalı ve takip edilen çözüm basamakları birbiri ile tutarlı bir bütünlük oluşturmalıdır (Reif, 1995).

Bazı fizik problemleri sadece bir fizik yasasının kullanılmasıyla çözülebilirken, bazı problemler ise karmaşık yapıları dolayısıyla birden fazla fizik yasasının kullanılmasını gerektirebilir. Newton mekaniğindeki eğik düzlem ve yay problemleri gibi alışılmış konu sonu problemleri (Dumas-Carré & Goffard, 1997; Heller ve diğ., 1992) sadece Newton'un ikinci yasası ile çözülebilir. Fakat Newton mekaniğinin diğer bir alışılmış ve evrensel problemi olan Atwood aleti problemi (Şekil 1) hem Newton'un ikinci yasasını hem de açısal momentumun korunumu ilkesini ilgilendirmektedir. Bu problem üniversite birinci sınıfta okutulan ve Genel Fizik I derslerinde ilk ünitelerde yer alan, Newton yasaları bölümünde öğrencilere sunulmaktadır. Açısal momentumun korunumu ilkesi ise daha sonra işlenecek olan bir ünitelerde yer almaktadır. Örneğin Atwood aleti problemi Serway Fizik I (Serway & Robert, 2002) ders kitabında farklı bölümlerde çözümlü bir örnektir. Bu problem beşinci ünite Newton Yasaları bölümünde ve daha sonra onuncu bölümde açısal momentumun incelendiği Katı Cisimlerin Dönme Hareketi bölümünde yer almaktadır.

Yandaki düzenekte, makaranın ve ipin kütlesi ve tüm sürtünmeler ihmal edilmektedir. İp esnek değildir. M kütlesi m kütlesinden büyüktür. Sistem serbest bırakıldığında her iki kütle için ivmesini hesaplayınız.



Şekil 1. Atwood Aleti Problemi Örneği. Problem Bir Fransız Üniversitesinde Öğrencilere Dağıtılan Föyden Türkçeye Çevrilmiştir.

Yavuz (2007), yukarıda belirtilen bağlamda sunulan Atwood aleti problemine ilişkin uzman çözücü (expert solver) stratejisinin nasıl olabileceğini tartışmaktadır. Bu stratejide birbirini tamamlayan iki tutarlılık söz konusudur. Bunlar (1) yasaların kullanımındaki tutarlılık ve (2) deneysel modellemeden gelen verilerin (ideal durumların) doğru bir şekilde kullanımından gelen tutarlılıktır. Buna göre, uzman çözücü Atwood aleti düzenegindeki tüm fiziksel sistemleri farklı fizik yasalarını doğru kullanarak inceleyebilir. Uzman çözücü çözüm için gereken bağıntıları, düzenekte kullanılan objelerin özelliklerini (ideal durumları) temel alarak ispatlayabilir.

Örneğin, makara ve ipin özelliklerinden (kütleleri ihmal edilen ip ve makara gibi) faydalanarak ip üzerindeki gerilim kuvvetlerinin eşitliğini ispatlayabilir. Benzer şekilde düzende kullanılan ipin özelliğini kullanarak (gergin ve esnek olmayan ip) iki kütleli ivmesinin eşit olacağını gösterebilir.

Öğretim elemanı uzman bir çözücüdür ve problemin çözümü için gerekli kavram ve yöntemleri bilmektedir (Heuvelen, 1991). Öğrenci ise uzman olmayan çözücüdür (Novice Solver) ve öğretim elemanının kavramsal ve yönetsel avantajlarına sahip olmayabilir (Chi, Feltovich, & Glaser, 1981; Heuvelen, 1991; Reif ve diğ., 1976). Öğretim elemanı uzman çözücü olarak birden fazla yasa kullanarak ihtiyacı olan bağıntıları ispatlayarak problemi çözebilir (Yavuz, 2007). Fakat öğrenci henüz öğrenmediği bir yasa ile ispata dayalı olarak bu problemi çözemeyecektir. Bu durumda öğretim elemanı öğrencilerin konuyla ilgili önbilgilerini dikkate alarak problem çözümünde uygun düzenlemeleri yapmak durumundadır. Fakat öğretim elemanının öğrenci için uyarlayacağı stratejide öğrencinin güçlüklerini de unutmamalıdır. Öğrenciler Atwood aleti probleminin çözerken Newton'un ikinci yasasını gerektiği gibi kullanamamaktadır (McDermott, Shaffer, & Somers, 1994). Örneğin, yasa uygulamak için uygun sistemi ve sisteme uygulanan tüm kuvvetleri doğru olarak belirleyememektedir. Bunlar göz önünde bulundurulduğunda öğretim elemanın çözümü, öğrencilerin bu konuda karşılaştıkları güçlükleri arttırmak yerine azaltmalı ve anlamlı öğrenmeye olanak sağlamalıdır.

Öğrenciler için örnek teşkil eden çözümler öğretim elemanlarının çözümleridir. Eğer öğrencilerden öğrendikleri fizik yasaları ile iç tutarlılığı olan, bilimsel olarak anlamlı çözümler üretmesini bekliyorsak, öncelikle onlara model olan çözümlerin bu şartları sağlaması gerekmektedir. Bu nedenle, bu çalışmada Atwood aleti problemine ilişkin öğretim elemanlarının çözümlerinin analiz edilmesine gerek duyulmuştur.

Araştırmanın Amacı

Bu araştırmanın temel amacı Atwood aleti problemi için anlamlı öğrenmeyi mümkün kılacak çözüm stratejisi geliştirmektir. Bu stratejiye ulaşmak için öncelikle öğretim elemanlarının probleme ilişkin uyguladıkları çözümlerin analizi yapılacak, muhtemel tutarsızlıklar ve anlamlı öğrenmeyi olumsuz yönde etkileyecek düzenlemeler tespit edilecektir. Araştırma soruları aşağıdaki gibidir.

1. Öğretim elemanlarının Atwood aleti problemine ilişkin izledikleri çözüm stratejileri nelerdir?

2. Bu stratejilerde takip edilen çözüm basamaklarında tutarsızlıklar var mıdır? Varsa nelerdir?
3. İdeal çözüm stratejisi Atwood aleti problemleri için nasıl olabilir?

YÖNTEM

Veri Kaynakları

Bu araştırmada farklı ülkelerdeki öğretim elemanlarının Newton Yasaları ünitesinde gerçekleştirdiği Atwood aleti problemi çözümleri veri kaynağı olarak kullanılmıştır. Yaygınlığı ve kolay erişebilirliği dikkate alınarak, veriler internet üzerindeki çözümlerle sınırlandırılmıştır. Çözümler internette en sık karşılaşılan İngilizce, Fransızca, Türkçe, Almanca, İtalyanca ve İspanyolca dillerindedir. Bu araştırmanın yazarlarından biri İngilizce, diğeri ise Fransızca diline hakim olduğundan İngilizce ve Fransızca gerçekleştirilen çözümler kolayca Türkçeye çevrilmiştir. Almanca, İtalyanca ve İspanyolca çözümlerin Türkçeye çevrilmesinde söz konusu dillere hakim kişilere başvurulmuştur.

Çözümler Google arama motoru kullanılarak bulunmuştur. Google arama motorunda “gelişmiş arama” seçeneği seçilmiş, “Atwood aleti” anahtar kelimelerinin her bir dildeki karşılığı girilerek arama gerçekleştirilmiştir. Sadece öğretim elemanlarının çözümleriyle ilgilendiğimiz için, bulunan çözümlerin bir üniversitenin resmi internet sayfasında olmasına özen gösterilmiştir. Bu nedenle Google arama motorunda alan sınırlaması yapılarak arama gerçekleştirilmiştir. Örneğin Amerika Birleşik Devletleri için sadece “.edu”, Avusturya için “.ac.at”, Türkiye için “.edu.tr” ve İngiltere için “.ac.uk” alanı “gelişmiş arama” seçeneğinde belirtilmiştir. Fransa, Belçika, İtalya ve İspanya gibi, üniversiteleri için özel alan adı olmayan ülkelerde bir çözüm bulunduğunda, çözümün bir üniversitenin web sitesine ait olup olmadığı, çözümün yayınlandığı sayfadan üniversitenin ana sayfasına gitmek suretiyle kontrol edilmiştir. Yapılan aramada farklı dillerde de olsa bazı çözümlerin birbirinin aynısı olduğu fark edilmiştir. Bu durumda bu çözümlerden ortak olanı analize dahil edilmiştir.

Yukarıda belirtilen sınırlılıklara ve belirtilen kriterlere uygun olarak Google arama motorunda yapılan taramada, 11 İngilizce, 6 Almanca, 5 İspanyolca, 3 Fransızca, 3 Türkçe ve 2 İtalyanca olmak üzere toplam 30 çözüm bulunmuştur. Bu çözümlerin internet adresleri Ek-A’da tablo halinde verilmiştir. Yirmi bir problem çözümü ders için hazırlanan sunularda ve internet sayfalarında, 8 problem çözümü deney föylerinde ve bir çözüm de yapılan bir sınavın cevap anahtarında bulunmuştur.

Verilerin Analizi

Araştırmada öğretim elemanlarının Atwood aleti probleminin çözümünde izledikleri stratejiler ve bu stratejilerin iç tutarlılıkları analiz edilmektedir. Bir problemin çözümü başlangıç noktasından hedef durumuna uzanan yolda gerçekleştirilen eylemler bütünü ifade eder. İzlenen stratejilerin belirlenmesi, hedefe ulaşmak için gerçekleştirdikleri eylemlerin belirlenmesi demektir. Bu eylemler anlamlı bir bütünü parçaları olmalıdır. Çözümün tutarlılığı ise her bir anlamlı bölümün tutarlı olmasını gerektirir. Çözülen problem fizik problemi olduğu için tutarlılık fizik yasası ile anlamlı parçaların örtüşmesine karşılık gelir. Dolayısıyla gerçekleştirilen eylemler ve bunların tutarlılıklarının analizi “ne yapılıyor?” “nasıl yapılıyor?” ve “niçin yapılıyor?” sorularına cevap aranmasını gerektirir. Prakseolojik Organizasyon yöntemi bu sorulara cevap vererek öğretim elemanları çözümlerini nitel olarak analiz etmemize yardımcı olan bir analiz yöntemidir. Aşağıda Prakseolojik Organizasyon yöntemi kısaca açıklanmış ve bu araştırmadaki Atwood aleti problemine nasıl uygulandığı detaylandırılmıştır.

Prakseolojik Analiz Yöntemi ve Araştırmadaki Uygulaması

Chevallard (1997, 1998, 2005) tarafından geliştirilen bilimsel bir bilginin kullanımına ilişkin Prakseolojik organizasyonun temelinde bir “işlem tipi” vardır. İşlem tipi gerçekleştirilen genel bir eylemi ifade eder. Örneğin bir fizik yasasını uygulamak bir işlem tipidir. Bu genel işlem tipinin gerçekleştirilmesi çeşitli problemlerin çözümünü sağlar. Bir işlem tipini gerçekleştirmek ise alt-işlemler bütünü gerçekleştirmeye eşdeğerdir. Bu ise teknik olarak adlandırılır. İşlem tipi ve alt-işlemler bütünü (teknik), “ne yapılmalı?” ve “nasıl yapılmalı?” sorularına cevap verir. Öğretim elemanları tarafından izlenen stratejilerin detaylı analizi yasayı uygulamaya karşılık gelen işlem tipine bağlı alt-işlemlerin nasıl gerçekleştiğini belirlememizi sağlar. Chevallard’a göre bu teknik teorik bilimsel bilgilerle tutarlı olmalıdır. Bu bilimsel bilgiler de “niçin bir işlem tipi alt-işlemler bütünü gerçekleştirilmesini gerektirir?” sorusuna cevap verir. Newton'un ikinci yasasına ilişkin örnek bir Prakseolojik Organizasyon ve bunun Atwood aleti problemine uygulanması aşağıda açıklanmıştır.

Prakseolojik Organizasyon çerçevesinde “Newton’un ikinci yasasının kullanılması” bir işlem tipidir. Bu işlem tipinin gerçekleştirilmesini sağlayan alt işlemler bütünü Tablo 1’de gösterilmiştir. Newton'un ikinci yasasının Atwood aleti problemine uygulanması demek, T5 “sistem için hareket denkleminin yazılması” işleminin gerçekleştirilmesi demektir. Problemin çözümü olan matematiksel ifade aşağıdaki denklem sisteminin çözümünü

gerektirmektedir (Denklem 1). Bu denklem sisteminin elde edilmesi için gerekli olan işlemler bütünü aşağıda detaylı olarak açıklanmıştır.

$$\begin{aligned} Mg - T_M &= Ma_M \\ mg - T_m &= -ma_m \end{aligned} \quad \text{Denklem 1}$$

Tablo 1. Newton'un 2. Yasasının Atwood Aleti Probleminin Çözümüne Prakseolojik Organizasyonla Uygulanması.

İşlem	İşlemin sonucu	
T1: Sistemin tanımlanması	Sistem 1 (M kütlesi)	Sistem 2 (m kütlesi)
T2: Sistemin ivmesinin yazılması	a_M	a_m
T3: Uygun bir koordinat sisteminin seçilmesi	Dikey doğrultuda ve M kütlelerinin hareketi yönünde seçilmiş bir eksen	
T4: Sisteme uygulanan kuvvetlerin belirlenmesi	W_M (M kütlelerinin ağırlığı) T_M (M kütlelerine etkiyen gerilme kuvveti)	W_m (m kütlelerinin ağırlığı) T_m (m kütlelerine etkiyen gerilme kuvveti)
T5: Sistem için hareket denkleminin yazılması	$Mg - T_M = M a_M$	$mg - T_m = -m a_m$

T1 “Sistemin tanımlanması”: Newton'un ikinci yasası düzenekteki diğer objelerden izole edilmiş bir sistem için yazılabilir. Bu işlem gerçekleştirilirken incelenilecek olan sistem geometrik bir noktaya indirgenir. Seçilen sistemin deforme olmaması gerekmektedir. Diğer bir ifadeyle sistemin kütle merkezinin sabit olması gerekir. Dolayısıyla Atwood aleti probleminde iki kütle tek bir sistem olarak seçilemez. Newton'un ikinci yasasının Atwood aleti problemine uygulanabilmesi için iki sistemin (M ve m kütleleri) seçilmesi gerekmektedir.

T2 “Sistemin ivmesinin yazılması”: Newton'un ikinci yasasını oluşturan kavramlardan biri de ivme kavramıdır. Bu işlem gerçekleştirilirken dikkat edilmesi gereken nokta yazılacak ivmenin sistemin ivmesi olmasıdır. Atwood aleti probleminde iki sistem incelendiği için iki farklı ivme tanımlanmalıdır. Fakat Tablo 1’de görüldüğü gibi, problemin sonucunu elde etmek için Denklem 1 de verilen sistemin çözülmesi gerekir. Bunun için iki kütlelerin ivmelerinin (a_M, a_m) eşit olması gerekir. Bu eşitlik bazı şartlar dahilinde geçerlidir ve bu matematiksel olarak ispatlanabilir. Düzenekte esnek olmayan bir ip kullanılmaktadır. Yani ipin uzunluğu sabittir. İpin boyu

matematiksel olarak ifade edilebilir. Bu ifadenin zamana göre ikinci türevi alınıp ivmelerin eşitliği bağıntısı elde edilebilir. Ek-B’de bu eşitliğin ispatına yer verilmiştir. Eğer ispata gerek duymadan bu eşitliği bir önerme şeklinde ifade etmek istersek, en doğru ifade “ipin esnek olmamasından dolayı her iki kütlelerin ivmesi eşittir” olacaktır.

T3: “Uygun bir koordinat sisteminin seçilmesi”: Newton'un ikinci yasası ivme ve kuvvet gibi vektörel büyüklükleri içermektedir. Matematiksel işlemlerin gerçekleştirilip fiziksel büyüklüklerin şiddetlerinin hesaplanabilmesi vektörlerin projeksiyonunu gerektirmektedir. Bu ise bir koordinat sisteminin belirlenmesini gerektirir. Atwood aleti probleminde sadece dikey doğrultuda bir hareket vardır. Tek boyutlu dikey bir eksenin seçilmesi yeterlidir.

T4 “Sisteme uygulanan kuvvetlerin belirlenmesi”: Atwood aleti probleminde iki farklı sistem olan M ve m kütlelerine etki eden kuvvetler, kütlelerin ağırlıkları ve ip tarafından uygulanan gerilme kuvvetleridir. Bu işlemde önemli olan nokta gerilme kuvvetlerinin belirlenmesine ilişkindir. İki farklı sistemle çalışıldığından iki farklı gerilme kuvveti belirlenmelidir. Fakat T2 “Sistemin ivmesinin yazılması” işleminde olduğu gibi problemi Newton'un ikinci yasası yardımıyla çözebilmek için iki gerilim kuvvetinin eşitliğine ihtiyaç vardır. Bu eşitlik düzenekte yer alan ip ve makaranın özelliklerine bağlıdır. Atwood aleti problemlerinde *ipin ve makaranın kütsüz ve makaranın sürtünmesiz olduğu* belirtilmektedir (Şekil 1). Bu veriler (ideal durumlar) kullanılarak gerilim kuvvetlerinin eşitliği ispatlanabilir. Ek-B’de bu eşitliğin nasıl ispatlanabileceği gösterilmiştir.

T5 “Sistem için hareket denkleminin yazılması”: Newton'un ikinci yasasının uygulanmasındaki asıl amaç bu işlemin gerçekleştirilmesidir. Bu işlem ise yukarıda belirtilen ilk dört işlemin gerçekleştirilmesini gerektirir. Bu işlemin tutarlılığı diğer işlemlerde ortaya konulan tutarlılığa bağlıdır.

Çözümlerin Analizi

Yukarıda belirtilen Newton'un ikinci yasasına ilişkin Prakseolojik Organizasyondan Atwood aleti probleminin iki aşamadan oluştuğu anlaşılmaktadır. Bunlar (1) Newton'un ikinci yasasının her iki kütleye ayrı olarak uygulanması (2) gerilme kuvvetlerinin ve kütlelerin ivmelerinin hangi durumlarda eşit olduğunun belirlenmesidir. Çözümlere ilişkin bu analizlerin nasıl yapılacağı aşağıda açıklanmaktadır.

Newton'un ikinci yasasının uygulanmasında gerçekleştirilen işlemler: Öğretim elemanlarının çözümlerinin analizinde öncelikli olarak Tablo 1’de belirtilen işlemler takip edilmiştir. Tablo 1’de verilen T1 ve T4 arası işlemler

öğretim elemanları tarafından açık bir şekilde ve detaylı olarak veya ima edilerek gerçekleştirilebilir. Çözüm içerisinde serbest cisim diyagramları veya sistem için yazılan hareket denklemleri bu işlemleri belirlemeye yardımcı olmaktadır. Tutarlılık analizinde iki işlem üzerine odaklanılmıştır. Bu işlemler T1 “Sistemin tanımlanması” ve T4 “Sisteme uygulanan kuvvetlerin belirlenmesi”dir.

Gerilme kuvvetleri ve ivmelerin eşitliği: Analiz edilen çözümlerde gerilim kuvvetlerinin veya ivmelerin eşitliğinin öncelikli olarak hangi ideal durum veya durumlara dayanarak belirtildiği tespit edilmiştir. Daha sonra ise çözümlerde belirtilen ideal durumların söz konusu eşitlikleri sağlayıp sağlayamayacakları belirlenmiştir. Bunun için Ek-B’de verilen matematiksel ispatlardan faydalanılmıştır. Buna göre Atwood aleti probleminde ivmelerin eşitliği için düzenekte kullanılan ipin esnek olmaması gerekmektedir. Gerilim kuvvetlerinin eşit olabilmesi için düzenekteki *ip ile makaranın kütsesiz ve makaranın sürtünmelerinin önemsenmemesi gerekir.*

BULGULAR

Öğretim elemanları tarafından gerçekleştirilen 30 çözümün analizi sonucunda üç farklı çözüm stratejisi tespit edilmiştir. Bu bölümde söz konusu stratejiler tanımlandıktan sonra detaylı bulguları sunulacaktır.

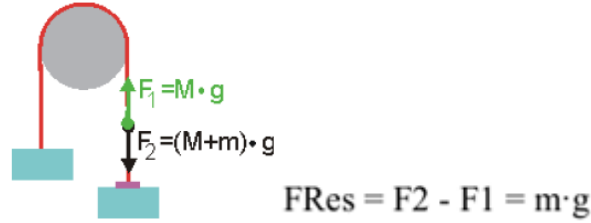
Strateji 1: Altı çözümde Newton’un ikinci yasasının doğru olarak kullanılmadığı görülmüştür. Hatalar seçilen sistemle, sistem üzerine etki eden kuvvetlerin doğru olarak belirlenememesinden kaynaklanmaktadır.

Strateji 2: On dört çözümde Newton’un ikinci yasası M ve m kütlelerine ayrı ayrı uygulanmış olup yasanın uygulanmasında herhangi bir soruna rastlanmamıştır. Fakat ipteki gerilme kuvvetleri ve kütlelerin ivmeleri herhangi bir veriye (ideal duruma) dayandırılmadan ve nedeni belirtilmeden eşit olarak kabul edilmiştir.

Strateji 3: Geri kalan 10 çözümde Strateji 2 de olduğu gibi Newton’un ikinci yasası M ve m kütlelerine ayrı ayrı uygulanmış olup yasanın uygulanmasında herhangi bir soruna rastlanmamıştır. Fakat ipteki gerilme kuvvetlerinin eşitliği ($T_M=T_m$) ve kütle ivmelerinin eşitliği ($a_M=a_m$) için belirtilen önermelerde tutarsızlıklar tespit edilmiştir.

Strateji 1

Bu stratejiye karşılık gelen 6 çözümün internet adresi Ek-A da belirtilmiştir. Bu çözümlerde Newton'un ikinci yasası yanlış kullanılmaktadır. Çözümlerde genellikle, açık bir şekilde tanımlanmayan bir sistemden söz edilip, sisteme etki eden net kuvvetin $Mg-mg$ olduğu belirtilmiştir. Buradan yola çıkarak Newton'un ikinci yasası $(M-m)g=(M+m)a$ şeklinde yazılmış ve sonuç bulunmuştur. Bu stratejiye karşılık gelen çözümlerde ip üzerindeki gerilim kuvvetlerine değinilmemiştir. Bu stratejiye örnek teşkil eden Şekil 2'de gösterilen Çözüm 1, öğrencilere Newton'un ikinci yasasının nasıl uygulanmaması gerektiğini gösteren kötü bir örnektir. Bu tür bir çözüm ancak fizikte uzman çözücü olmayan bir öğrenciden beklenecek tarzdadır.



Şekil 2. Çözüm 1'de seçilen sistem ve sisteme etki eden kuvvetler*.

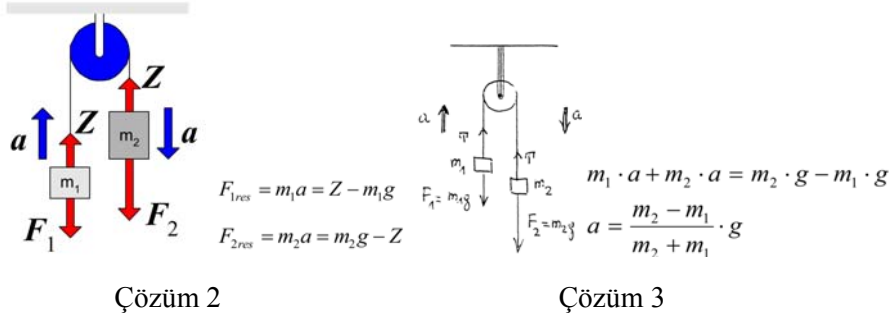
Şekil dikkatli incelendiğinde ip üzerinde bir sistem seçildiği (işlem T1 “Sistemin tanımlanması”) ve bu sisteme uygulanan iki kuvvet olduğu (işlem T4 “Sisteme uygulanan kuvvetlerin belirlenmesi”) bunların ise ipin her iki ucundaki kütlelerin ağırlıkları (Mg ve $Mg+mg$) olduğu görülmektedir. Oysaki şekil üzerinde gösterilen noktada bir sistem seçilirse bu sisteme uygulanan sadece zıt yönde iki gerilim kuvveti olacaktır. Çözümün tutarsızlığı sisteme etki eden kuvvetlerin hatalı belirlenmesinden, diğer bir ifadeyle T4 “Sisteme uygulanan kuvvetlerin belirlenmesi” işleminin doğru olarak gerçekleşmemesinden kaynaklanmaktadır.

Yukarıda verilen çözüm McDermoot ve diğerleri (1994) tarafından belirtilen ve öğrenci çözümlerinde görülen, seçilen sistem üzerine uygulanan kuvvetlerin doğru bir biçimde belirlenememesi sorununa bir örnek teşkil etmektedir. Problem çözümleri yasaların verilen fiziksel durumlara doğru olarak uygulaması olarak düşünülürse, bu tür bir çözümün bu amaca uygun olmadığı görülmektedir.

* “FRes” ip üzerinde seçilen sisteme uygulanan net kuvveti ifade etmektedir.

Strateji 2

Bu stratejiye dahil edilen toplam 17 çözümün internet adresi Ek-A da belirtilmiştir. Analiz edilen çözümlerde iki sistemin incelendiği, her iki kütle için aynı ivmeye (a) sahip olduğu, her iki kütleye ip tarafından aynı gerilme kuvvetinin (T) uygulandığı görülmektedir. Fakat bu çözümlerde söz konusu eşitliklerin nedeni açıklanmamıştır. Herhangi bir ideal duruma (esnek olmayan ve kütlesi ihmal edilen ip gibi) çözümlerde değinilmemiştir. Bu stratejiye örnek teşkil eden Çözüm 2 ve Çözüm 3 Şekil 3’de gösterilmektedir.



Şekil 3. Çözüm 2 ve Çözüm 3 deki Newton'un ikinci yasasının kullanımına ait işlemler[†].

Şekil 3’de gösterilen iki çözümde de Newton’un ikinci yasasının kullanımına ilişkin herhangi bir problem yoktur. Hangi sistemlerin inceleneceği açık olarak belirtilmese de iki kütleye etki eden kuvvetlerin şekil üzerinde gösterilmesi iki sistemin incelendiğini belirtmektedir (İşlem T1 “Sistemin tanımlanması”). Her iki çözümde de sistemlere ait ivmeler yazılmış (İşlem T2 “Sistemin ivmesinin yazılması”) ve sistemlere etki eden kuvvetler gösterilmiştir (işlem T4 “Sisteme uygulanan kuvvetlerin belirlenmesi”). İki çözümde de bir koordinat sistemi açık olarak seçilmese de küçük kütleli cismin hareket yönü pozitif yön olarak kabul edildiği anlaşılmaktadır (işlem T3 “Uygun bir koordinat sisteminin seçilmesi”).

Görüldüğü gibi bu strateji içerisinde yer alan çözümlerde Newton’un ikinci yasası doğru olarak kullanılmaktadır. Fakat öğretim elemanları kütlelerin

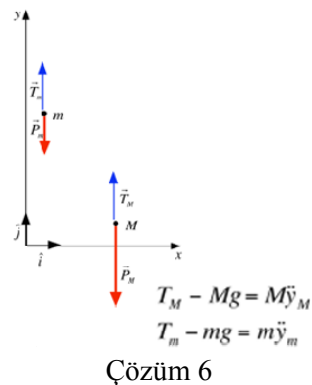
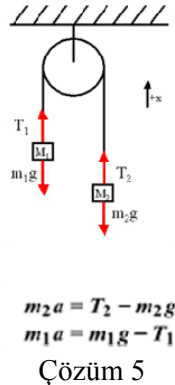
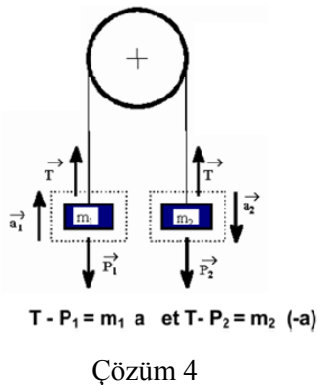
[†] Çözüm S2’de F_{1res} Ve F_{2res} M_1 Ve M_2 kütlelerine uygulanan net kuvveti z ise gerilme kuvvetini ifade etmektedir.

ivmeleri ve kütlelere etki eden gerilim kuvvetlerinin hangi şartlar dahilinde eşit olacağına ilişkin herhangi bir tartışmaya girmemektedir. Böylece problemin çözümünü basite indirgemektedir. Problemi “sorunsuz” çözmek için etkili bir strateji gibi düşünülebilir. Fakat mekanik öğretimi sadece Newton’un ikinci yasası ile sınırlı değildir. Zaten en aza indirilmiş olan ve gerçeğin modellenmesinden gelen veriler bu stratejide tamamen ortadan kaldırılmaktadır. Oysaki bu çözümde hesaba bile katılmayan veriler aynı ders dahilinde öğretilecek olan açısal momentumun korunumu ilkesinin uygulanması esnasında önemli rol oynayacaktır.

Strateji 3

Bu stratejiye dahil edilen toplam 10 çözümün internet adresi Ek-A da belirtilmiştir. Bu stratejide yer alan çözümler iki aşamadan oluşmaktadır: (1) Newton’un ikinci yasası iki kütleyle ayrı ayrı uygulanmakta ve (2) $T_M = T_m$ ve/veya $a_M = a_m$ eşitlikleri bazı verilere (ideal durumlara) dayanılarak belirtilmektedir. Çözümlerde Newton’un ikinci yasasının uygulanmasında hata bulunmamaktadır. Fakat söz konusu eşitlikler için kurulan önermelerde çeşitlilik ve tutarsızlıklar gözlenmiştir. Sadece iki çözümde (Çözüm 4 ve Çözüm 28) gerilim kuvvetleri arasındaki ilişkinin açısal momentumun korunumu ilkesi yardımıyla ispatlanabileceği belirtilmiştir.

Şekil 4’de Çözüm 4, Çözüm 5 ve Çözüm 6 da yer alan şekil ve diyagramlarla her iki kütle için yazılan hareket denklemleri gösterilmektedir. Çözüm 4 de iki farklı ivme belirtilmekte fakat iki kütleyle etki eden gerilme kuvvetlerinin aynı olduğu herhangi bir önermeye dayandırılmadan kabul edilmektedir. Çözüm 5 de kütlelerin ivmeleri aynı kabul edilmekte, diğer taraftan iki kütleyle etki eden gerilme kuvvetlerinin farklı olduğu belirtilmektedir. Çözüm 6 da ise hem gerilme kuvvetleri hemde kütlelerin ivmeleri farklı olduğu kabul edilmektedir.



Şekil 4. Çözüm 4, Çözüm 5 ve Çözüm 6 da Newton'un ikinci yasaının kullanımına ait işlemler.

Çözüm 4 de kütlelerin dörtgen içine alınmış olması; Çözüm 5 de ise iki kütleye uygulanan kuvvetlerinin gösterimi ve Çözüm 6 da iki kütle için geometrik bir noktaya indirgenip kuvvetlerin belirlenmesi T1 “Sistemin tanımlanması” işleminin gerçekleştirildiğini göstermektedir. T2 “Sistemin ivmesinin yazılması” işlemi sadece Çözüm 4 de açık olarak gerçekleştirilmiştir. Çözüm 5 ve Çözüm 6’da T3 “Uygun bir koordinat sisteminin seçilmesi” işlemi açık olarak gerçekleştirilmiştir. Bu çözümlerde Atwood aleti şeklinin yanında ve serbest cisim diyagramında koordinat sistemi belirtilmiştir. Çözüm 4 de ise serbest cisim diyagramında seçilen koordinat sistemi açık olarak gözükmemektedir. Fakat bu çözümdeki hareket denklemleri incelendiğinde dikey ve küçük kütleli cismin hareket yönü doğrultusunda bir koordinat sisteminin seçildiği anlaşılmaktadır. Her üç çözümde de sistemlere etki eden kuvvetler diagram olarak gösterilmiştir. Yani T4 “Sisteme uygulanan kuvvetlerin belirlenmesi” işlemi her üç çözümde açık olarak gerçekleştirilmiştir. Bu işlemlerle birlikte her iki sisteme (iki kütle) ait hareket denklemleri incelendiğinde Newton’un ikinci yasaının çözümlerde doğru olarak kullanıldığı anlaşılmaktadır.

Farklı ülkelerdeki üç üniversitenin web sitesinde bulunan çözümlerde Newton’un ikinci yasaının kullanımı birbirine benzerken, gerilme kuvvetleri ve ivmeler arasındaki eşitlikleri belirtmek için kullanılan ideal durumlar birbirinden farklıdır. Örneğin Çözüm 4 de ipin esnek olmaması nedeniyle ivmelerin büyüklükleri eşitlenirken, Çözüm 5 de aynı ideal durumun bu defa ivmelerin değil gerilme kuvvetlerinin eşitliğine sebep olduğu belirtilmektedir. Çözüm 6 de ise ipin ideal bir ip olması hem gerilme kuvvetlerinin hemde ivmelerin eşitliğini belirtmeye yardımcı olduğu ifade edilmektedir. Oysaki ip üzerindeki gerilme kuvvetlerinin eşitliğini ispatlamamızı ipin kütsüz olması, makaranın kütsüz ve ip ile makara arasındaki sürtünmenin ihmal edilebilir olması sağlamaktadır. Kütle ivmelerinin eşitliğini ise ipin esnek olmaması sağlamaktadır. Yukarıda belirtilen ideal durumların kullanımı birbiri ile farklılık gösterirken, hepsi doğru olan önerme ile çelişmektedir. Çünkü bu çözümlerde belirtilen ideal durumlarla söz konusu eşitlikler ispatlanamaz. Diğer taraftan öğretim elemanları bu eşitlikleri belirtirken herhangi bir yasayı temel almamıştır. Bu ise öğrencinin ideal durumları ve bu ideal durumların önermeleri oluşturmaktaki gerekçeleri tam olarak anlayamamasına yol açmaktadır (Yavuz, 2007). Dolayısıyla öğrenci problemi çözerken tutarlı bir strateji geliştiremeyebilir.

TARTIŞMA VE ÖNERİLER

Yapılan analiz neticesinde öğretim elemanlarının Atwood aleti problemini çözmek için 3 farklı stratejiye başvurdukları görülmüştür. Analiz edilen 30 çözümün 24'ünde öğretim elemanları M ve m kütlelerini iki farklı sistem olarak ve Newton'un ikinci yasasını doğru kullanarak incelemişlerdir. Fakat bu 24 çözümün 14'ünde (Strateji 2) öğretim elemanları ipteki gerilim kuvvetlerinin ve iki kütlelerin ivmelerinin hangi şartlar dahilinde eşit olacağını tartışmamayı tercih etmişlerdir. Dolayısıyla da elde edilen sonucun hangi şartlar dahilinde geçerli olacağı bilinmemektedir. Bu 24 çözümün 10'unda (Strateji 3) ise bu eşitliklerin hangi şartlar dahilinde eşit olacağı ideal durumlara dayanılarak tartışılmıştır. Söz konusu eşitliklerin matematiksel olarak ispatı söz konusu olmadığından hangi ideal durum veya durumların hangi eşitliği doğru ve tutarlı olarak belirtmeye yarayacağı konusunda birbiri ile çelişen hatalı sonuçları ortaya çıkartmıştır. Öğretim elemanlarının özellikle ipteki gerilim kuvvetlerinin eşitliğinin açıl momentumun korunumu ilkesi yardımıyla ispatlanabileceğini bilmelerine rağmen çözümde bunu belirtmemeleri de dikkate değer bulunmuştur. Analiz edilen 30 çözümün 6'sında ise (Strateji 1) sistem hatalı olarak belirlenmiş ve seçilen bu sisteme etkiyen kuvvetlerin hatalı olarak belirlendiği tespit edilmiştir.

Problemin öğretim elemanları tarafından hatalı bir şekilde çözülmesi öğrencinin her şeyden önce doğru bir çözüm stratejisi belirlemesini engelleyecektir. Gerilim kuvvetlerini ve ivmeleri tartışmadan eşit olarak kabul etmek Atwood aleti düzeneğinde makarayı yokmuş gibi kabul etmeye eşdeğerdir. Bu durumda problem metninde belirtilen ideal durumların önemi öğrenci tarafından tam olarak anlaşılabilir. Diğer taraftan öğretim elemanının gerilim kuvvetleri ve ivmelerin eşitliği için belirttiği önermelerin tutarsızlıkları karşısında öğrencinin tutarlı olması beklenemez. İzlenilen bu 3 stratejinin öğrencilerin anlamlı bir öğrenme ve problem çözme stratejisini geliştirmeye izin veremeyeceği düşünülmektedir. Oysaki Atwood aleti problemi öğrencilerde anlamlı problem çözme stratejilerini öğretmeye yarayacak güzel bir örnektir. Bu örnek öğrencilere Newton'un ikinci yasasının açık bir şekilde uygulamasını gösterirken öğrencilerin fiziksel kavramlar arasındaki ilişkileri kurmayı öğretmekte ve bir problem çözümünde başlangıç durumundan hedef durumuna nasıl ulaşılacağını göstermektedir. Bu tür örnek teşkil edecek problemlere ilişkin çözümler Gick (1986) tarafından önemle dikkate alınması gereken "Worked examples" olarak adlandırılır. Atwood aleti probleminin bu bağlamdaki önemini ve çözümünün yine aynı bağlamda hangi stratejilerle örtüşebileceği aşağıda tartışılmaktadır.

Atwood Aleti Probleminin Çözümünde Nitel Basamak

Nitel analiz problem çözme stratejilerinin önemli bir basamağıdır ve nicel çözümden önce problemi anlamaya yardımcı olmaktadır (Dumas-Carré & Goffard, 1997; Leonard ve diğ., 1996; Reif, 1995; VanLehn, 1996). Atwood aleti problemi nitel olarak analize son derece uygundur ve probleminin nicel çözümü nitel olarak kolayca öngörülebilir.

Bu yaklaşımda öğretim elemanı öğrencileri düzeneğin özel durumlarının (special cases) keşfine yönlendirebilir. Böylece problem nitel olarak analiz edilebilir ve ivmenin değeri öngörülebilir. Bu özel durumlar (1) düzeneğin dengede olduğu ($M=m$) ve (2) düzeneğindeki kütlelerden birinin diğerine oranla çok büyük olduğu ($M \gg m$) durumdur. Düzeneğin dengede olduğu durumda ivme sıfır olacaktır. Diğer durumda ise büyük olan kütle yerçekimi ivmesine yakın bir ivmeyle hareket edecektir. Böylelikle problemin çözümü ile elde edilecek sonuç için değer aralığı belirlenmiş olacaktır. Elde edilecek nicel sonucun bu iki özel durum ile tutarlı olması gerektiği öğrenciye açıklanabilir.

Düzeneğin dengede olduğu durumdan hareketle, her iki kütleli harekete geçiren etkinin, bu kütlelerin farkı olduğu belirtilebilir. İki kütleli değeri birbirine ne kadar yakınsa ivme o kadar küçük olacak, aksi takdirde ivme yerçekimi ivmesine yaklaşacaktır. Böylece problemin Newton'un ikinci yasası ile çözülmesiyle elde edilecek olan sonuç $a = \frac{M - m}{M + m} g$ nitel olarak öngörülebilir.

Atwood Aleti Probleminin Çözümünde Nicel Basamak

Öğretim elemanı çözümlerinde tespit edilen tutarsızlıkları gidermek için nicel basamakta iki farklı strateji önerebiliriz. Bunlar (1) problemin hipotetik bir yaklaşımla çözümü ve (2) problemin analogi yöntemiyle çözülmesidir.

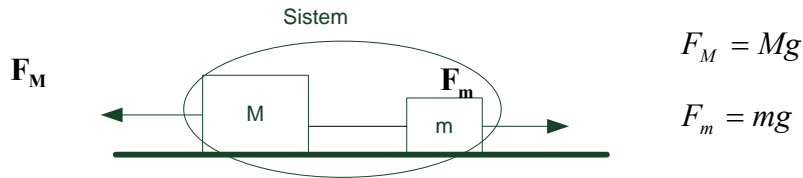
Problemin nicel çözümüne hipotetik yaklaşım: Öğretim elemanı Newton'un ikinci yasasını düzeneğindeki iki kütleli ayrı sistemler olarak kabul edip incelemelidir. Fakat burada iki kütleli etki eden gerilim kuvveti doğrudan eşit olarak kabul edilmemelidir. Bunun yerine T_M , T_m gibi iki farklı gerilim kuvveti belirtilmelidir. Benzer şekilde kütlelerin a_M , a_m gibi iki farklı ivmeye sahip olduğu belirtilmelidir.

Anlamalı fizik problemi çözümünde amaçlardan biride öğrenciye bilimsel çalışmalarda izlenen süreçleri öğretmektir (Dumas-Carré & Goffard, 1997; Gaidioz, Vince, & Thiberghien, 2004). Burada önemli bir basamakta hipotezlere başvurmadır. Newton yasaları bölümünde sunulan Atwood aleti problemini çözmek için gerilim kuvvetlerinin ve ivmelerin eşit olduğu kabul

edilmelidir. Fakat öğretim elemanlarının bu eşitlikleri belirtmedeki stratejilerin de tutarsızlıklar vardır. Dolayısıyla bu eşitlikler öğrenciye birer hipotez olarak verilebilir. Böylece öğrenci problem çözümünde nerede yasaları kullanacağını nerede hipoteze başvuracağını kavrayabilir. Hipotetik bir yaklaşımın neticesinde sonucun kontrol edilmesi gerekir. Eğer nicel basamakta elde edilen sonuç, düzeneğin iki özel durumu ($M=m$ ve $M \gg m$) ile tutarlı ise bu durumda yapılan hipotezin doğru olacağı öğrenci tarafından belirlenebilir.

Problemin analoji yardımıyla çözülmesi: Analoji yardımıyla problem çözme farklı stratejilerin öğrenilmesinde bir araçtır (Gick, 1986, ss. 107,108). Atwood aleti problemi bu stratejilerin öğrenilmesine yardımcı olabilir. Üstelik bazı öğretim elemanları çözümlerinde hatalı olarak sadece bir sistemi incelemişlerdir. Eğer Atwood aleti problemi tek bir sistemin incelenmesi ile çözülecekse analoji yöntemi aşağıda açıklanacağı gibi çözümü daha anlamlı kılacaktır.

Şekil 5’de gösterilen düzenek Atwood aleti ile benzerdir. Düzenekte iki kütle (M ve m) esnek olmayan bir iple bağlıdır. M ve m kütlelerine kendi ağırlıkları büyüklüğünde fakat zıt yönde iki kuvvet uygulanmaktadır. Düzeneğin tanıtılmasından sonra bu sistemin Atwood aleti düzeneğiyle benzeşen yönleri öğrencilere keşfettirilebilir. Örneğin Atwood aleti probleminde olduğu gibi sistemin hareketi M ve m kütleleri üzerlerine etki eden kuvvetlere bağlıdır. Eğer M ve m kütlelerine uygulanan kuvvet eşitse kütleler hareket etmeyecektir.



Şekil 5. Atwood Aleti Problemini Çözmek İçin Analoji Yapılabilecek Düzenek.

Bu düzenekte M ve m kütleleri tek bir sistem olarak incelenebilir. Bu durumda ip üzerindeki gerilme kuvvetleri seçilen sisteme bir dış kuvvet değildir. Dolayısıyla Newton'un ikinci yasasının yazılımında dikkate alınmazlar. Newton'un ikinci yasası seçilen sisteme uygulanıp (Tablo 2) sistemin ivmesi elde edilebilir. Elde edilen bu ivme aynı zamanda Atwood

aleti probleminde kütlelerin ivmesine eşdeğerdir. Tablo 2’de Newton'un ikinci yasasının kullanımına ilişkin Prakseolojik Organizasyonla problemin analoji yoluyla çözümü özetlenmiştir.

Tablo 2. Atwood Aleti Probleminin Analoji Yardımıyla Çözümü.

İşlem	İşlemin sonucu
T1: Sistemin tanımlanması	M+m kütlelerinden oluşan bir sistem
T2: Sistemin ivmesinin yazılması	A
T3: Uygun bir koordinat sisteminin seçilmesi	M kütlelerinin hareket yönünde seçilmiş bir eksen
T4: Sisteme uygulanan kuvvetlerin belirlenmesi	F_M (M kütlelerine uygulanan kuvvet) F_m (m kütlelerine uygulanan kuvvet)
T5: Sistem için hareket denkleminin yazılması	$F_M - F_m = (M+m)a$ $(M-m)g = (M+m)a$

SONUÇ

Araştırma neticesinde Atwood aleti probleminin çözümünde öğretim elemanlarının üç farklı strateji izlediği görülmüştür. Çözümü basitleştirme ve öğrencilerin seviyesine uygun hale getirme isteği beraberinde tutarlılık bazında bazı güçlükleri de getirmiştir. İzlenen stratejilerin, öğrencilerin anlamlı ve tutarlı bir problem çözme stratejisi geliştirmesine izin vermeyen nitelikte olabileceği görülmüştür.

Daha önce yapılan bir çalışmada (McDermott ve diğ., 1994) Atwood aleti probleminin Newton'un ikinci yasasını öğretmeye yardımcı olamayacağı kanısına varılmıştır. Bu kanının aksine yapılan çalışmanın bir sonucu olarak Atwood aleti probleminin anlamlı bir öğrenme için iki büyük avantajı olduğu düşünülmektedir:

- Atwood aleti problemi Newton'un ikinci yasasının doğru olarak kullanılmasının öğretilmesinde önemli bir rolü olabilir. Öğrenci eğer Newton'un ikinci yasasını doğru olarak iki farklı sisteme uygulayabilirse, tek bir sistemin incelendiği problemlere zaten uygulayabilecektir.
- Atwood aleti problemi, analoji yöntemiyle problem çözme, nitel olarak problem çözme ve hipotetik bir yaklaşımla problem çözme gibi farklı stratejilerin öğretilmesine olanak sağlayabilir.

KAYNAKLAR

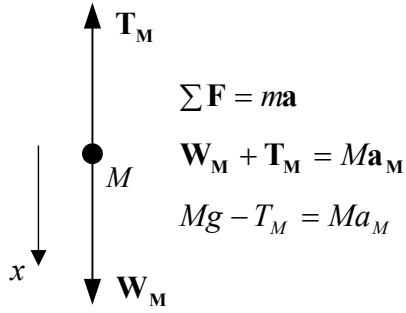
- Bosch, M., Chevallard, Y., & Gascon, J. (2005). Science or magic? The use of models and theories in didactics of mathematics. In *Proceedings of the Fourth Congress of the European Society for Research in Mathematics Education*. http://ermeweb.free.fr/CERME4/CERME4_WG11.pdf 12.03.2009 tarihinde erişilmiştir.
- Chevallard, Y. (1997). Familière et problématique, la figure du professeur. *Recherches en Didactique des Mathématiques*, 17(3), 17-54.
- Chevallard, Y. (1998). Analyse des pratiques enseignantes et didactique des mathématiques: L'approche anthropologique. La Rochelle-France. http://yves.chevallard.free.fr/spip/spip/IMG/pdf/Analyse_des_pratiques_enseignantes.pdf 12.03.2009 tarihinde erişilmiştir.
- Chi, M., Feltovich, P., & Glaser, R. (1981). Categorization and representation of physics problems by experts and novices. *Cognitive Science*, 5(2), 121-152.
- Çalışkan, S., Selçuk, G. S., & Erol, M. (2006). Fizik öğretmen adaylarının problem çözme davranışlarının değerlendirilmesi. *H.Ü. Eğitim Fakültesi Dergisi*, (30), 73-81.
- Dhillon, A. (1998). Individual differences within problem-solving strategies used in physics. *Science Education*, 82, 379-405.
- Dumas-Carré, A., & Goffard, M. (1997). *Rénover les activités de résolution de problèmes en physique*. Paris: Armand Colin/Masson.
- Fabre, M. (1999). *Situations-Problèmes et savoir scolaire*. Paris: Presse Universitaire de France (PUF).
- Gaidioz, P., Vince, J., & Thiberghien, A. (2004). Aider l'élève à comprendre le fonctionnement de la physique et son articulation avec la vie quotidienne. *BUP*, 866, 1029-1042.
- Gick, M. L. (1986). Problem-Solving Strategies. *Educational Psychologist*, 21(1&2), 99-120.
- Heller, P., Keith, R., & S.Anderson. (1992). Teaching problem solving through cooperative grouping. Part 1.Group versus individual problem solving. *Am. J. Phys.*, 60, 627-636.
- Heuvelen, A. V. (1991). Learning to think like a physicist: A review of research-based instructionalstrategies. *Am. J. Phys.*, 59, 891-897.
- Johsua, S., & Dupin, J. (1999). *Introduction à la didactique des sciences et des mathématiques*. Paris: Presse Universitaire de France (PUF).

- Leonard, W., Dufresne, R., & Mestre, J. (1996). Using qualitative problem-solving strategies to highlight the role of conceptual knowledge in solving problems. *Am. J. Phys.*, 64, 1495-150.
- McDermott, L. C., Shaffer, P. S., & Somers, M. D. (1994). Research as a guide for teaching introductory mechanics: An illustration in the context of the Atwood's machine. *Am. J. Phys.*, 62(1), 46-55.
- Newell, A., & Simon, H. (1972). *Human Problem Solving* (Englewood Cliffs.). NJ: Prentice Hall.
- Özsoy, G. (2005). Problem Çözme Becerisi İle Matematik Başarısı Arasındaki İlişki. *GÜ, Gazi Eğitim Fakültesi Dergisi*, 25(3), 179-190.
- Reif, F. (1983). Understanding and teaching problem-solving in physics. In *Research on Physics Education: Proceedings of the First International Workshop, June 26-July 13, 1983*. La Londe les Maures.
- Reif, F. (1995). Millikan Lecture 1994: Understanding and teaching important scientific thought processes. *Am. J. Phys.*, 63, 17-32.
- Reif, F., Larkin, H., & Brackett, G. (1976). Teaching general learning and problem-solving skills. *Am. J. Phys.*, 44-3, 212-217.
- Serway, A., & Robert, J. (2002). *Fen ve mühendislik için fizik- 1* (5th ed.). Ankara: Palme Yayıncılık.
- VanLehn, K. (1996). Conceptual and meta learning during coached problem solving. In *Proceedings of the 3rd International Conference on Intelligent Tutoring Systems ITS '96*.
- Yavuz, A. (2007). *Stratégie de résolution d'exercice en mécanique du point matériel. Stratégie des enseignants et difficultés des étudiants de la première année universitaire: Exemple du problème de la machine d'Atwood*. Yayınlanmamış Doktora Tezi, Université Josph Fourier Grenoble I France.

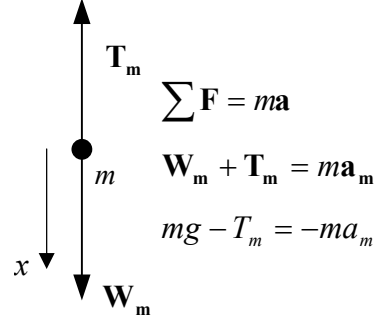
Ek-B

Atwood Aleti Probleminin Çözümü

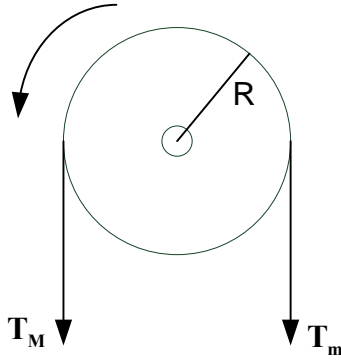
Sistem 1: M kütlesi



Sistem 2: m kütlesi



Sistem 3 Makara ve üzerinden geçen ip parçası



Açısal momentumun korunumu prensibi: $\frac{d}{dt} \mathbf{L} = \sum_i M_i(\mathbf{F}_i)$

Makaranın açısal momentumu L: $\mathbf{L} = m_{makara}(\mathbf{r} \times \mathbf{v})$

Makaranın kütlesi ihmal ediliyor $\rightarrow L = 0$

Kuvvetlerin momentleri:

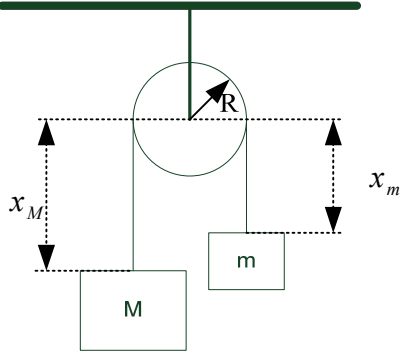
Sürtünmeler ihmal ediliyor $\rightarrow M(\mathbf{F}_s) = 0$

T_M gerilme kuvvetinin momenti: $M(T_M) = RT_M$

T_m gerilme kuvvetinin momenti: $M(T_m) = -RT_m$

$0 = RT_M - RT_m$ ve buradan $T_M = T_m$

Sistem 4 ipin boyunun incelenmesi



İp esnek değil \rightarrow ipin boyu sabit $\rightarrow \ell = x_M + x_m + \pi R = \text{sabit}$

$$\frac{d\ell}{dt} = 0, \quad \frac{d^2\ell}{dt^2} = 0$$

$$\frac{d^2x_M}{dt^2} + \frac{d^2x_m}{dt^2} = 0$$

$$\frac{d^2x_M}{dt^2} \rightarrow M \text{ kütlesinin ivmesi}$$

$$\frac{d^2x_m}{dt^2} \rightarrow m \text{ kütlesinin ivmesi}$$

$$a_M = a_m$$