



**SOLVING THE FUZZY PROJECT SCHEDULING PROBLEMS WITH META-HEURISTIC METHODS**

**Abdullah H. KÖKÇAM, Orhan ENGİN\***

*Selçuk Üniversitesi, Mühendislik-Mimarlık Fakültesi, Endüstri Mühendisliği Bölümü Kampüs-KONYA*

**Received/Geliş: 15.07.2009 Revised/Düzeltilme: 12.05.2010 Accepted/Kabul: 17.05.2010**

---

**ABSTRACT**

Today, as a result of ongoing globalization, companies do not have to only compete on the local market but worldwide. Globalization also caused an increase in product variety while shortening product life. Consequent confusion and uncertainty made predicting the future and planning accordingly much more difficult. Because classic planning and scheduling methods fail to keep up in such an environment, to make right decisions and to draw accurate plans for future requires an unconventional approach. Using exact methods to solve these problems is not feasible, due to required long computational time and realism of the project. An alternative way to solve this uncertainty is the fuzzy set theory. Using this method on scheduling problems makes it possible to plan more efficiently. In this study the use of meta-heuristic methods for solving fuzzy project scheduling problems is investigated.

**Keywords:** CPM, PERT, fuzzy set theory, fuzzy project scheduling, meta-heuristic methods.

**BULANIK PROJE ÇİZELGELEME PROBLEMLERİNİN META SEZGİSEL YÖNTEMLERLE ÇÖZÜMÜ**

**ÖZET**

Günümüzde şirketler artık sadece kendi bölgelerinde değil, küreselleşmenin getirdiği küresel pazarlarda rekabet etmek durumundadırlar. Bu rekabetin bir neticesi olarak, gün geçtikçe ürünlerin ömürleri azalırken ürün çeşitliliği artmakta, bu da belirsizliğin artmasına ve planlamanın güçleşmesine yol açmaktadır. Böyle bir ortamda ayakta kalabilmek için şirketlerin doğru kararlar alarak doğru planlar yapması gerekmekte ve bu durum da proje çizelgelemenin önemini artırmaktadır. Bu problemin çözümünde kesin çözüm veren yöntemlerin kullanılması hem gerçekçilik açısından hem de hesaplanması için gerekli süre açısından uygun olmamaktadır. Belirsizliğin çözümünde en doğal yöntem, bulanık küme teorisidir. Bu yöntemin, proje çizelgelemede kullanılmasıyla daha etkili ve verimli çizelgeler oluşturmak mümkün olmaktadır. Bu çalışmada bulanık proje çizelgeleme problemlerinin meta sezgisel yöntemlerle çözümü araştırılmıştır.

**Anahtar Sözcükler:** CPM, PERT, bulanık küme teorisi, bulanık proje çizelgeleme, meta sezgisel yöntemler.

---

**1. GİRİŞ**

Gün geçtikçe artan rekabet ve belirsizlik ortamında, işletmeler ayakta kalabilmek ve rakiplerine karşı bir fark oluşturabilmek için daha çok çalışmaktadırlar. Böyle bir ortamda, projelerin başarılı

---

\*Corresponding Author/Sorumlu Yazar: e-mail/e-ileti: orhanengin@yahoo.com, tel: (332) 223 20 39

bir şekilde yönetilmesi işletmeler için son derecede önemlidir. Projelerin çizelgelenmesi, proje yönetiminin en önemli parçalarından biridir. Ancak günümüzde sürekli olarak ürün çeşitliliğinin artması ve ömürlerinin kısaltılmasıyla her seferinde farklı faaliyetler ve süreçlerle uğraşılması ve bu da belirsizliklerle dolu bir sürecin planlanmasını ve dolayısıyla da çizelgelenmesini gerektirmektedir

Ürünlerin zamanında teslimi, üretim sürelerinin kısaltılması, stok maliyetlerinin azaltılması, vb. hedefler ancak doğru çizelgeleme teknikleriyle mümkün olabilir.

Çizelgeleme, üretim ve hizmet sektörlerinin çoğunda temel olarak kullanılan bir karar verme sürecidir. Çizelgeleme, verilen zaman periyotlarında kaynakların görevlere atanması işlemini yapar ve hedefi, bir ya da birkaç amacı optimize etmektir [1].

Çizelgeleme problemleri spesifik üretim görevlerine göre çok geniş bir alana yayılmıştır ve birçoğu NP (Nondeterministic Polynomial-time)-zor problemlerdir. Gerçek hayatta çizelgeleme problemleri, iş çizelgeleme ve proje çizelgeleme problemleri olarak sınıflandırılır [2]. Faaliyetlerin beklenen zamanda yapılması hem finansal (gerekli mali kaynağın temini) hem de operasyonel (gerekli kaynakların temini) açıdan çok önemlidir. Proje faaliyetlerinin çizelgelenmesi günlük çalışma saatleri, haftalık çalışma günleri, tatiller vb. yani çalışma takviminin belirlenmesiyle başlar. Her faaliyetin ne kadar süreceği tahmin edilir ve faaliyetler arasındaki öncelik ilişkilerine ve her faaliyetin tahmini süresine göre çalışma takvimi yardımıyla proje çizelgesi oluşturulur [2].

Bulanık mantığın mimarı olan, Lotfi A. Zadeh bulanık mantığın yeteneğini aşağıdaki gibi açıklamaktadır; “...Bulanık mantık, insanın iki mükemmel yeteneğinin resmîleştirilmesi/makineleştirilmesi için yapılan bir girişim olarak görülebilir. Bunlardan ilki düzgünlüğün olmadığı, belirsizliğin, eksik bilgilerin, çelişen bilgilerin, gerçeğin bir parçasının ve olasılığın bir parçasının bulunduğu bir çevrede kısaca mükemmel bilginin olmadığı bir çevrede muhakeme etme ve mantıklı karar verme yeteneğidir. İkincisi ise geniş bir alandaki fiziksel ve zihinsel görevleri hiçbir ölçüm ve hesaplama yapmadan gerçekleştirebilme yeteneğidir” [3].

Proje çizelgeleme konusunda yapılan çalışmaların büyük çoğunluğunda, problemle ilgili tüm bilgilere sahip olduğu ve problemin statik, deterministik ortamda çalıştığı varsayılmaktadır. Ancak gerçek hayatta proje faaliyetleri büyük ölçüde belirsizdir ve proje uygulanırken aşama aşama çözülmektedir[4]. Bulanık küme teorisi tam olarak tanımlanması zor olan sistemlerin modellenmesinde kullanılmaktadır. Bulanık küme teorisi kesin bilginin olmadığı ve özneliğin bulunduğu bir modeli formüle ederek çözüm sürecine alan bir yöntemdir [5]. Dolayısıyla belirsizlikle dolu bu problemin en uygun çözümünü bulmak için belirsizlikle uğraşabilecek çözüm tekniklerine ihtiyaç vardır. Böyle bir problemin çözümünde günümüzde kullanılabilecek en iyi yöntemlerden biri bulanık küme teorisi yöntemidir.

Bu çalışmada, NP kapsamında yer alan, bulanık proje çizelgeleme problemlerinin çözümlerinde kullanılan, Karınca Kolonileri, Genetik Algoritma, Yerel Arama Algoritması ve Tabu Arama Algoritması meta sezgisel yöntemleri incelenmiştir. Ayrıca son yıllarda kullanılan ve başarılı sonuçlar veren Paralel Kanguru Algoritması [6] meta sezgisel yöntemi ile örnek bir bulanık proje çizelgeleme problemi çözülmüştür.

Araştırmanın ikinci bölümünde, proje çizelgeleme konusu açıklanmıştır. Üçüncü bölümde, bulanık proje çizelgeleme konusu izah edilmiştir. Dördüncü bölümde, bulanık proje çizelgeleme problemlerinin, kesin çözüm veren yöntemler ile kesin çözümü garanti etmeyen meta sezgisel yöntemlerle çözümleri, açıklanmıştır. Sonuç kısmını oluşturan beşinci bölümde ise meta sezgisellerin bulanık proje çizelgeleme problemlerinin çözümündeki önemi üzerinde durulmuştur.

## **2. PROJE ÇİZELGELEME**

Proje çizelgeleme, tek çeşit veya küçük yığın üretiminde sınırlı kaynakların bağlı oldukları faaliyete zamanla ayrılması olayıyla ilgilenmektedir. Proje çizelgeleme uygulamaları, inşaat mühendisliği ve yazılım geliştirme gibi birçok farklı alana yayılmıştır. Aynı şekilde proje

çizelgelemedeki çözümü zor olan zengin model çeşitleri, araştırmacıların ilgisini çekmektedir. Bilinen optimizasyon problemlerinin çoğunluğu genel proje çizelgeleme modellerinin özel durumlarıdır. Örneğin kaynak kısıtlı proje çizelgeleme problemleri özel bir durum olarak atölye tipi iş çizelgelemeyi içermektedir [7].

## 2.1. Proje Çizelgelemenin Öğeleri

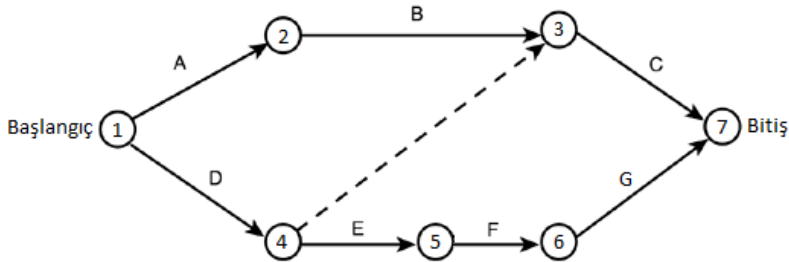
Proje çizelgeleme problemleri; faaliyetler, kaynaklar, öncelik ilişkileri ve performans ölçülerinden oluşmaktadır. Gerekli tüm verinin mevcut, deterministik ve tam sayı değerli olduğu varsayılmaktadır [8]. Proje çizelgeleme öğeleri, faaliyetler, öncelik ilişkileri, kaynaklar, projenin gösterimi ve performans ölçümleridir.

Bir proje; iş, operasyon veya görev olarak da bilinen belirli sayıda faaliyetten oluşur. Teknolojik kısıtlar sebebiyle bazı faaliyetler diğerleri başlamadan önce bitirilmelidir. Bu durumda proje, faaliyetlerin düğümlerle gösterildiği ve iki faaliyet arasındaki öncelik ilişkilerinin yönlü bir eğriyle gösterildiği yönlü diyagramla ifade edilir[8].

Faaliyetler tarafından kullanılan kaynaklar, yenilenebilir, yenilenemez, kısmen yenilenebilir ve iki kat kısıtlı kaynaklar olarak gruplandırılır. Eğer kaynaklar sadece periyot tabanlı kısıtlanmışsa yenilenebilir kaynak adı verilir. Her yenilenebilir kaynak bütün periyotlarda mevcuttur. Diğer bir deyişle kaynakların varlığı proje uzunluğundan etkilenmemektedir. Makineler, ekipmanlar ve iş gücü örnek olarak verilebilir. Eğer kaynaklar yenilenemez ise her bir periyot içinde kaynak kısıtı olmadan tüm planlama periyotları boyunca bu kaynaklar sınırlıdır[8]. Yani bir periyot içerisinde belirli bir kaynak sınırsız kabul edilir, ancak sürecin tamamında bu kaynak sınırlıdır. Bu kaynak tipine projenin sermaye bütçesi örnek olarak verilebilir.

Proje ağları gösterilirken genel olarak faaliyetler ok üzerinde (AOA-activity on arc) veya düğüm üzerinde (AON-activity on node) gösterilmektedir. Her iki gösterimde de, proje ağı üzerinde başlangıç ve bitiş düğümleri tanımlanmadı ise yapay başlangıç ve/veya bitiş düğümü tanımlanmalıdır. Yapay başlangıç düğümlerinin faaliyet süresinin sıfır ve hiçbir kaynağı kullanmadığı varsayılmaktadır. Hangi yöntem kullanılırsa kullanılsın bir faaliyetin başlayabilmesi için bütün öncüllerinin tamamlanmış olması gerekmektedir [9].

Şekil 1'de A'dan G'ye kadar adlandırılmış yedi faaliyet ve bir de kukla faaliyet içeren ağ gösterilmektedir. AON'den farklı olarak faaliyetler oklar üzerinde gösterilmektedir. Ancak burada kukla faaliyet denilen, farklı faaliyetler bulunmaktadır. Bu faaliyetler kesikli çizgiyle gösterilir ve faaliyet süreleri sıfırdır. Örneğin 4 ve 3 nolu düğümler arasında kukla faaliyet gösterilmiştir. Burada D faaliyeti bitmeden C faaliyeti başlayamayacaktır.



Şekil 1. Faaliyetlerin ok diyagramı ile gösterimi

Tamamlanma süresinin minimizasyonu proje çizelgeleme alanında muhtemelen en fazla araştırılan ve geniş bir uygulama alanı bulan amaçtır. Tamamlanma süresi (makespan) projenin başlangıcından bitişine kadar olan zamandır. Tamamlanma süresinin minimizasyonu sıradan bir

performans ölçütüdür. Başka bir sıradan performans ölçütü de eğer teslim tarihleri verilmişse faaliyetlerin akış sürelerinin veya beklentilerin minimizasyonudur. [8].

## 2.2. Proje Çizelgeleme Teknikleri

Çizelgeleme sınıflarına göre bir proje çizelgeleme problemi “ $P_{\infty} | prec | C_{max}$ ” şeklinde ifade edilir. n iş, öncelik ilişkilerine ve sınırsız paralel makine (veya kaynak) sayısına göre çizelgenir. Amaç projenin toplam süresinin minimize edilmesidir [1].

Projedeki faaliyetlerin çizelgelenmesinde genel olarak üç teknik kullanılmaktadır. Bunlar: Gantt Şeması, CPM (Critical Path Method - Kritik Yol Metodu), PERT (Program Evaluation and Review Technique - Program Değerlendirme ve Gözden Geçirme Metodu) teknikleridir.

### 2.2.1. Gantt Şeması

Amerikalı bir mühendis ve sosyal bilimci olan Henry L. Gantt, 1917’de üretim kontrol aracı olarak Gantt Şemasını geliştirmiştir. Gantt Şemasının temel formunda faaliyetleri ve zamanı grafiksel bir şekilde birbirine bağlar ve böylelikle işin zamanının belirlenmesini sağlar ancak faaliyetler arasındaki bağlantılar görülemez [10].

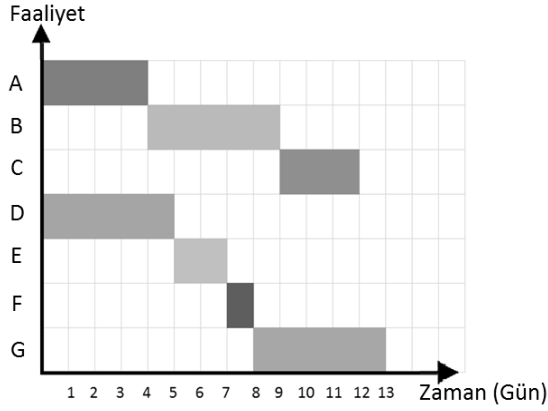
Çizelge 1’de, Şekil 1’de verilen diyagramın süreleri ve öncelik ilişkileri, Çizelge 1’de sunulmuştur. Şekil 2’de, verilen diyagramın bu faaliyet ve öncelik ilişkilerine göre Gantt Şeması çizilmiştir.

Şekil 1’de verilen diyagramın bu faaliyet ve öncelik ilişkilerine göre Gantt Şeması çizilmiştir. Bu çizelge toplamda 7 faaliyetten oluşmakta ve 13 gün sürmektedir. Dikey ekseninde faaliyetler, yatay ekseninde de zaman yer almaktadır. Her faaliyetin tahmini zamanı, çubuk şekilleriyle gösterilmiştir. Bir faaliyetin başlangıcıyla bitişi arasındaki süre bu çubukların uzunluğunu belirler. Burada öncelik kısıtlarına göre B ve D faaliyetleri bitmedikçe C faaliyeti başlayamaz. Ancak E faaliyetinin başlayabilmesi için B ve C faaliyetlerinin bitmesi gerekmez. Yani bu faaliyetler aynı zamanda yapılabilir.

**Çizelge 1.** Faaliyetlerin süreleri ve öncelik ilişkileri

Faaliyet	Süre (gün)	Öncülü
A	4	-
B	5	A
C	3	B, D
D	5	-
E	2	D
F	1	E
G	5	F

Gantt şeması faaliyetler arasındaki ilişkileri basit olarak ortaya koymaktadır. Bu sebeple büyük ve karmaşık problemlerin çözümünde zorlanacaktır. Çünkü çok sayıda faaliyeti bir şema üzerinde göstermek ve faaliyetler arasındaki ilişkileri belirtmek oldukça güç olacaktır. Bu da Gantt şemasının en büyük eksikliğidir [11].



Şekil 2. Gantt Şeması

### 2.2.2. CPM ve PERT

CPM, kimyasal tesislerin yapım ve bakımını yapan DuPont şirketinden, Walker, asistanı Kelly ve diğer çalışanları tarafından 1956-1957 yıllarında geliştirilmiştir. Aynı zamanlarda Amerikan Donanması Özel Projeler Müdürlüğü'nün (ÖPM), donanma için başlattığı Polaris adındaki balistik füze programı için ÖPM'nin Plan ve Programlar Bölümü PERT yöntemini geliştirmiştir [10].

CPM'in amacı kritik yol üzerindeki kritik faaliyetlerin belirlenmesi ve kaynakların bu faaliyetlere aktarılmasıyla projenin zamanının kısaltılabilmesidir. Bunun yanında CPM proje performansının değerlendirilmesinde ve darboğazların belirlenmesinde oldukça değerli bilgiler sunmaktadır [12].

CPM ve PERT büyük ölçekli projelerin planlanması, şekilsel gösterimi ve kontrolüne yardımcı olmak amacıyla geliştirilmiştir. Bu iki yöntem farklı yerlerde farklı amaçlar için geliştirilmiş olsalar da temelde her ikisi de aynı kalmıştır [11]. CPM ve PERT arasındaki en önemli fark, CPM faaliyetleri sonlu ve mantıksal olarak tahmin edilebilir süreler olarak tanımlarken PERT faaliyetleri bir aralıkta mümkün olan süreler olarak tanımlar. Bu aralıkta süreler iyimser (veya sonraki olay gerçekleşmeden önceki en kısa zaman), en muhtemel ve kötümser olarak değişir [13]. Dolayısıyla CPM işlem süreleri belli olan veya kesine yakın bir şekilde tahmin edilebilen faaliyetlerin olduğu projelerde kullanılabilirken PERT faaliyet süreleri kesin olmayan projelerde kullanılabilir.

PERT yönteminde bu tahmini süreler arasındaki etkileşimle projenin istatistiksel olarak en muhtemel süresi belirlenmeye çalışılır. Ancak 1950 yılındaki ilk bilgisayarlar ve hatta 1960'lı yıllardaki bilgisayarlar bu teoriyi tamamen kullanabilecek yeterli hız ve hafızaya sahip değillerdi ve bu sebeple bu üç tahmin genellikle (1) formülü kullanılarak birleştirilmekteydi [13].

$$Süre = \frac{i + 4m + k}{6}, \quad (1)$$

Burada;  $i$ , iyimser süreyi,  $m$ , en muhtemel süreyi,  $k$ , kötümser süreyi göstermektedir.

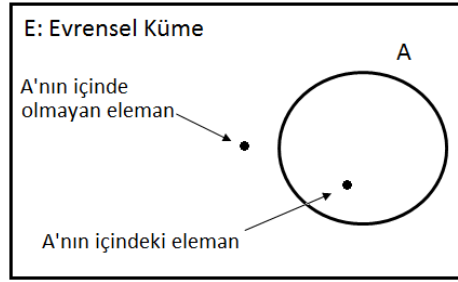
CPM tanımlanan faaliyetlerin ve bu faaliyetlerin sürelerinin performansını ölçerken PERT tanımlanan olaylara ulaşılmasını ve bu olaylar arasındaki geçişlerin sürelerini ölçmektedir. Başka bir önemli fark da CPM süreleri tanımlanan olaylardan oluşurken PERT süreleri olayların arasındaki tanımlanmayan faaliyetlerden oluşmaktadır [13].

### 3. BULANIK PROJE ÇİZELGELEME

Endüstri Mühendisliği dalında son yıllarda yapılan çalışmalar incelendiğinde bulanık kümeler teorisini esas alan yöntemlerinin çalışmalarda önemli bir yer tuttuğu gözlemlenmektedir. İlk olarak 1960'lı yılların ortalarında ortaya çıkan bulanık kümeler teorisi geçen yıllarla birlikte çok farklı alanlarda uygulanmaya başlanmıştır. Konu hakkında çok sayıda çalışma yapılmış ve önemli sonuçlar elde edilmiştir. Sistemlerdeki belirsizliğin modellenmesinde yeni bir dönem başlatan bu önemli konu hakkındaki çalışmalar halen yoğun bir şekilde devam etmektedir [14].

#### 3.1. Klasik Küme Teorisi

Küme, farklı elemanlar topluluğudur. Kesin küme, verilen bir evrensel kümede elemanların üyeliklerine göre ikiye ayrılması olarak tanımlanır. Bunlardan ilki üye olanlar, yani belirli bir kümeye ait olanlar ve ikincisi üye olmayanlar, yani belirli bir kümeye ait olmayanlardır. Klasik küme teorisinde üyeler ve üye olmayanlar arasında kesin bir ayrım bulunmaktadır [4]. Buna göre klasik küme teorisinde her eleman mutlaka 0 veya 1 değerini almalıdır. Denklem (2)'de gösterildiği gibi eğer bir eleman kümeye dahilse 1 değilse 0 değerini alır. Şekil 3'te klasik küme teorisinin gösterilmiştir.



Şekil 3. Klasik küme teorisi [15]

Küme teorisinde üyelik fonksiyonu olarak temsil edilir.

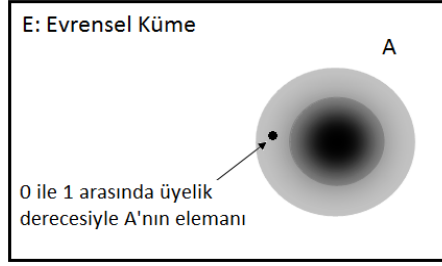
$$\mu_A(x) = \begin{cases} 1 & \text{eğer } x \in A \\ 0 & \text{eğer } x \notin A, \end{cases} \quad (2)$$

#### 3.2. Bulanık Küme Teorisi

Bulanık kümeler teorisi ilk olarak 1965 yılında Prof. Lotfi A. Zadeh tarafından matematiksel bir kuram olarak ortaya atılmıştır. Bu kuram kesin olarak tanımlanamayan veya belirlenemeyen hedeflerin ifadesi için doğal bir ortam olarak düşünülmüştür. Zadeh aynı zamanda bulanık kümeler teorisiyle olasılık teorisinin birbirleriyle olan yakın ilişkisini de göstermiştir. Bu şekilde bulanık kümeler yaklaşımı ile istatistiksel teknikler bilgisayarların da desteğiyle birleştirilmiş ve ortaya yeni ve verimli bir araştırma ve uygulama sahası çıkmıştır [14].

Kesin kümelerin tersine bulanık kümelerde her elemana  $[0,1]$  aralığında üyelik değerleri verilerek küme oluşturulur. Üyelik değeri, bir elemanın o bulanık kümeye olan aidiyet derecesini belirtir [4]. Bulanık küme teorisinde

Şekil 4'te gösterildiği gibi A kümesinin kesin sınırları yoktur. Bunun yerine  $\mu: E \rightarrow [0,1]$  üyelik fonksiyonuna göre 0 ile 1 arasında  $\mu(x)$  üyelik derecesiyle x elemanı A kümesine dahildir.



**Şekil 4.** Bulanık Küme Teorisi [15]

Gerçek hayatta karşılaşılan cisimler sınıflandırılırken tam olarak tanımlanmış bir üyelik kriteri bulunmamaktadır. Örneğin hayvan sınıfının içerisinde köpekler, atlar, kuşlar vb. varlıkların bulunduğu ancak taşlar, akışkanlar ve bitkiler gibi varlıkların bulunmadığı bir grup anlaşılır. Ancak denizyıldızı, bakteri gibi varlıkların hayvan sınıfına girme açısından şüpheli bir durumu söz konusudur. İşte bunun gibi belirsizliklerin çözümünde bulanık küme, elemanlara üyelik dereceleri vererek problemi açıklamaktadır [16].

Bir eleman bulanık olarak ele alındığında onun dahil edileceği küme kesin olarak belirtilmez. Bunun yerine daha gerçekçi ve makul olan üyelik derecesine göre bir kümeye olan aidiyeti belirlenir. Örneğin uzun boylu insanlar kümesinde, 190 cm boyundaki bir insan 1 üyelik derecesiyle bu kümeye dahil olduğu ileri sürülürse 180 cm boyundaki biri 0,65 üyelik derecesiyle bu kümeye dahil olabilir.

Kesin bir evet-hayır sınırı olmayan bulanık küme teorisiyle belirsiz olan kavramlar ve ilişkiler tam olarak gösterilebilmektedir. Böylece örneğin bir belgenin K1 konusuyla belirli bir derecede (0 ile 1 arasında) ilgili olması, K2 konusunu belirli bir derecede araştırın bir kullanıcının olması, K4 konusunun K3 konusunu belirli bir derecede içermesi gibi durumlar gösterilebilmektedir. Bulanık küme teorisi, sadece bu bilgiyi göstermekle kalmayıp aynı zamanda çeşitli belirsizlikler de hesaba katılarak tam manasıyla kullanılabilir [15].

Gerçek uygulamalarda projeler pek çok faaliyet içermektedir. Bu projeleri sınırlı kaynak ve öncelik ilişkileri kısıtları altında çizelgeleme işi bu problemi NP-zor probleme çevirmektedir. Bu tür problemlerin çözümünde kesin sonuç veren algoritmaların tamamı zorlanacaktır. Ayrıca bir projenin pek çok faaliyetinin süresi bilgi eksikliği nedeniyle (proje uygulanırken faaliyet süreleri beklenenden daha az veya çok sürebilir, kaynaklar mevcut olmayabilir, gerekli materyaller gecikebilir, işçiler gelmeyebilir vb.) genellikle kesin değil, belirsizdir. Bulanık küme teorisi böyle bir bilginin kullanılmasında en iyi yoldur [17].

#### 4. BULANIK ÇİZELGELEME PROBLEMLERİNİN META SEZGİSEL YÖNTEMLERLE ÇÖZÜMÜ

##### 4.1. Kesin Çözüm Veren Doğrusal Programlama Modelleri

Pratikte problemleri kesin çözüm veren yöntemlerle çözmek mevcut bilgisayarların hesaplama süresinden dolayı uygun olmasa da bunların geliştirilmesi bazı nedenlerden dolayı haklı gösterilebilir. Sezgisel yöntemlerin incelenmesi ve de verimliliklerinin kıyaslanması için optimal çözümlerin bulunması oldukça yararlıdır. Ayrıca kesin çözüm veren yöntemler belirli bir süre sonra durdurularak sezgisel yöntem gibi kullanılabilir. En önemlisi optimizasyon problemi, NP-zor olduğunda bunların uygulanması ile uygun bir çözümün olup olmadığı tespit edilebilir [18].

#### 4.1.1. DP ve TP

Doğrusal Programlama (DP) problemi, karar değişkenlerinin doğrusal fonksiyonunu, doğrusal kısıtlar çerçevesinde, maksimize veya minimize etmek için optimize etmektir [2]. Bu tanıma göre Tam Sayılı programlama (TP), bazı değişkenlerin veya tüm değişkenlerin negatif olmayan tam sayı olduğu Doğrusal Programlamadır.

Birçok çizelgeleme problemi geleneksel DP veya TP şeklinde formüle edilebilmektedir. Ancak önemli basitleştirmelerin yapılması gerekmektedir. Genel olarak kesin sonuç veren yöntemler amaç fonksiyonun karakteristiklerine bağlıdır (örneğin tek modlu faaliyetler). Ayrıca DP formülasyonları genelde problemi tam olarak yansıtamazlar. Bu nedenle sadece belirli örneklerde veya küçük problemlerde kullanılabilirler[19].

#### 4.1.2. Dal Sınır Yöntemi

Birçok çözüm yöntemi, proje planındaki öncelik ilişkilerinden elde ettikleri karar ağaçlarında arama yapmaktadır. Ağacın kökü ilk göreve karşılık gelmektedir. Ağacın ikinci seviyesinde ilk görev çizelgelenikten sonra çizelgelenebilecek görevler kümesi yer alır ve böylece sonuna kadar devam eder. En sonunda oluşan ağaç öncelik açısından uygun görev sıralarının kümesini göstermektedir. Alternatif olarak eğer ağaç oluşturma algoritması kaynak kısıtlarını göz önünde bulunduruyorsa görevlerin sıraları direkt olarak çizelgelenebilir. Arama işleminde ağacın kökünden yaprağına kadar sıralamalar ele alınır. En iyi kök-yaprak yolu bulunana kadar arama devam eder. Ancak ağaç faaliyet sayısına bağlı olarak çok hızlı bir şekilde büyümektedir. Öncelik ilişkilerine göre eklenen her yeni görev ağaca birçok dal ekleyebilir. Dal sınır yaklaşımı ağaca ilk görevden başlayarak her bir görev için öncelik ve kaynak kısıtlarına göre çizelgelenebilecek bir düğüm ekler. Böylece ağacı oluşturur [2].

Dal sınır yöntemi geniş problemleri çözememektedir. Sınırlama tekniklerinde önemli gelişmeler yapılmış olsa da dal sınır yöntemleri halen yüzden daha az faaliyetle sınırlıdır [2].

#### 4.2. Meta sezgisellerin Kullanımı

Proje yönetiminde, geleneksel yöntemlerle çözümü çok zor olan, projenin karmaşıklığı ve projede arıza veya bekleme oluşması gibi durumlar nedeniyle ağıdaki optimum ve altoptimum yolların başarıyla tahmin edilmesi çok önemlidir. Metasezgisel tabanlı optimizasyon algoritmaları gerçek hayattaki uygulamalara yeni bir bakış açısı kazandırmıştır [12]. Son yıllarda bulanık proje çizelgeleme problemlerinin meta sezgisel yöntemlerle çözümü konusunda yapılan çalışmalar aşağıda verilmiştir.

Ke ve Liu [20] çalışmalarında bulanık faaliyet süreli proje çizelgeleme problemlerinin çözümünde, bulanık simülasyon ve genetik algoritmayı birleştirerek hibrit akıllı algoritma geliştirmişlerdir. Üç sayısal örnek üzerinde geliştirdikleri algoritmayı uygulamışlardır.

Wang ve Huang [21] çalışmalarında kaynak kısıtlı yazılım geliştirme projesinin çizelgelenmesini, bulanık programlama modelleriyle göstermişlerdir. Karar verme sürecinin farklı gereksinimleri için beklenen maliyet modeli ve güvenilirlik maksimizasyonu modeli olmak üzere iki yeni model önermişlerdir. Modellerin çözümü için genetik algoritma ve bulanık simülasyonu birleştirerek hibrit bir akıllı algoritma tasarlamışlardır. Sayısal örneklerle geliştirdikleri yöntemin etkinliğini göstermişlerdir.

Abdallah ve diğ. [12] çalışmalarında deterministik ve olasılıklı CPM/PERT ağlarının çözülmesinde ve hesaplanmasında Karınca Kolonisi Algoritması sistemini kullanmışlardır. İnşaat alanında örnek bir olay üzerinde önermiş oldukları Karınca Kolonisi Algoritmasını uygulamışlardır.

Sharafi ve diğ. [22] çalışmalarında bulanık ortamda, bulanık proje çizelgelemek için bulanık teori tabanlı yeni bir yöntem sunmuşlardır. Faaliyet zamanları üçgensel bulanık sayılardır



ve literatürde ilk defa faaliyetler arasındaki ilişkileri kesinleştirilmiş sayı değil de üçgensel bulanık sayı olarak almışlardır. Sunulan yöntem doğrusal programlama tabanlıdır.

Yousefli ve diğ. [23] çalışmalarında kaynak kısıtlı proje çizelgeleme problemlerinin bulanık ortamda çözümünü için yeni bir yöntem sunmuşlardır. Sunulan modelde her faaliyetin süresi, kaynağın kullanılabilirliği ve faaliyetlerin kaynak ihtiyaçları belirsizdir bu yüzden üyelik dereceli bulanık sayılar kullanılarak öncelik listesi oluşturmuşlardır. Proje çizelgeleme sonuçlarını göstermek için literatürde ilk defa üç boyutlu Gantt şeması kullanmışlardır. Geliştirdikleri yöntemi sayısal bir örnek üzerinde göstermişlerdir.

Long ve Ohsato [24] çalışmalarında belirsizlik ve kaynak kısıtı altında proje çizelgelemek için bulanık kritik zincir yöntemini sunmuşlardır. Geliştirdikleri yöntemde kaynak kısıtı altında arzu edilen deterministik çizelgeleme yapılması üzerinde durmuşlardır. Sundukları yöntemin hem projenin planlanmasında hem de uygulanmasında kullanışlı olduğunu ileri sürmüşlerdir.

Liu ve diğ. [25] çalışmalarında kaynak kısıtlı ve belirsiz faaliyet sürelerine sahip proje çizelgeleme problemlerinin çözümünde, Genetik Algoritma tabanlı optimizasyon yöntemi sunmuşlardır. Belirsiz faaliyet zamanlarının temsilinde bulanık küme teorisini kullanmışlardır. Bulanık proje tamamlanma zamanının minimum süresinin bulunması için genetik algoritma kullanan bir arama tekniği kullanmışlardır. Sundukları yöntemin performansını, belirsiz faaliyet süreleri olan bir örnek üzerinde göstermişlerdir.

Soltani ve Haji [26] çalışmalarında bulanık ortamda proje çizelgeleme problemlerinin çözümünde bulanık teori tabanlı yeni bir yöntem sunmuşlardır. Faaliyet sürelerini ikizkenar yamuk şeklindeki bulanık sayılar olarak kabul etmişlerdir. Doğrusal programlama tabanlı bu yeni yaklaşımla geriye doğru hesaplamalarda üretilen negatif ve uygun olmayan sonuçları elemişler ve bu yöntemle değiştirilmiş geriye doğru hesaplama adımı vermişlerdir. Kullanıcılara optimal sonucu basit bir tekrarlamalı ilişkiyle hiçbir doğrusal programlama problemi çözmeden, kolayca çözüme götüren doğrusal programlama probleminin optimal sonucunun genel formunu kullanmışlardır. Sayısal bir örnekle yöntemi açıklamışlardır. Buldukları sonuca göre yöntemin en büyük avantajı, anlamlı hesaplanabilir sonuçların elde edilmesinde doğrudan aritmetik bulanık operatörlerin kullanılması olmuştur.

Chen ve Huang [27] çalışmalarında bulanık faaliyet zamanlarına sahip bir proje şebekesinde kritik yolun belirlenmesi için analitik bir yöntem sunmuşlardır. Proje şebekesindeki tüm faaliyetlerin işlem zamanlarında üçgensel bulanık sayıları kullanmışlardır. PERT tekniği ve bulanık küme teorisini birleştiren yeni bir modelle faaliyetlerin ve yolların kritiklik derecelerini belirlemişlerdir. Sundukları yöntemde bir olasılık indeksi tanımlayarak projenin belirli bir zamanda tamamlanma ihtimalini belirlemişlerdir. Geliştirdikleri yöntemi bir örnekte kullanarak sonuçlarını diğer yöntemlerle kıyaslamışlardır. Sonuçlar, sundukları yöntemin faaliyetlerin kritikliğinin belirlenmesinde ve kritik yolun bulunmasında daha etkili olduğunu göstermiştir.

Şeda [28] çalışmasında kaynak kısıtlı proje çizelgeleme problemine uygulama açısından yaklaşarak hangi faaliyetlerin hemen yapılması gerektiği ve hangilerinin ertelenmesi gerektiğine karar verecek uygun bir sezgisel yöntem seçmiştir. Faaliyetleri değiştirmek yerine sürelerini uzatan verimli bir yöntemle faaliyetlerin sürelerini aktif olan ve uyuyan olarak alt aralıklara ayırmak mümkün olmuştur. Daha sonra klasik kritik yol metodu uygulanabilir hale gelen problemi kolayca çözmüştür. Geliştirdiği algoritmanın kolaylıkla kaynak kısıtlı çoklu proje çizelgelemeye uyarlanabildiğini ifade etmiştir.

Ke ve Liu [29] çalışmalarında faaliyet zamanlarını rastsal bulanık değişkenler olarak kabul edip proje çizelgeleme problemlerini rastsallık ve bulanıklıkla karışık bir belirsizlik içinde ele almışlardır. Farklı yönetim gereksinimlerini karşılamak için üç farklı rastsal bulanık model sunmuşlardır: beklenen maliyet minimizasyon modeli, ( $\alpha$ ,  $\beta$ )-maliyet minimizasyon modeli ve şans maksimizasyon modeli. Hibrit akıllı algoritmanın tasarımında bazı belirsiz fonksiyonlar için rastsal bulanık simülasyonlar yapmış ve bu fonksiyonları genetik algoritmaya eklemişlerdir. Sayısal örneklerle algoritmanın etkinliği göstermişlerdir.

Liu ve diğ. [30] bulanık kaynak kısıtlı proje çizelgeleme problemlerinin çözümü için bulanık küme teorisi tabanlı özel bir genetik yerel arama algoritması tasarlamışlardır. Öncelikleri uygun olan bir faaliyet listesini çözüm örneği olarak uygulamışlardır. Özel olarak tasarladıkları rekombinasyon operatörlerini ve yerel arama işlemlerini kullanmışlardır. Gelecek nesilleri oluştururken rulet çemberi ve elit seçilimi modellerini birleştirmişlerdir. Değişik kaynak bulunabilirlik düzeyleri ile proje çizelgeleme deneyleri yapmışlardır. Buldukları sonuçlara göre bu tür problemlerin çözümünde geliştirdikleri algoritma etkili bir yöntemdir.

Pan ve Yeh [31] bulanık kaynak kısıtlı proje çizelgelemede yaklaşık optimal çözüm elde etmek için bulanık genetik algoritmayı tabu mekanizmasıyla birleştirmişlerdir. Geliştirdikleri bu yöntem genelde birçok gerçek kaynak kısıtlı proje çizelgelemede birlikte bulunan bulanık ve kesinleştirilmiş sayıları kullanabildiğini ileri sürmüşlerdir. Gerçek bir kontrol çizelgesini bulanık kaynak kısıtlı proje çizelgeleme problemi olarak ele alıp gerçek bir örnek olayda algoritmayı test etmişlerdir.

Wang [32] çalışmasında ürün geliştirme projelerinin yönetiminde karşılaşılan faaliyet sürelerindeki belirsizliklerinin çözümü için bulanık çizelgeleme yöntemi geliştirmiştir. Belirsiz ve esnek olan geçici bilginin modellenmesinde olasılık teorisini kullanmıştır. Çizelge riski kavramını çizelgenin performansının değerlendirilmesinde kullanmıştır. Minimum çizelge riskinin belirlenmesi için bulanık ışın arama algoritmasını geliştirmiştir ve faaliyetlerin başlangıç zamanları, bütün geçici kısıtların en düşük memnuniyet değerini en üst seviyeye çıkartacak şekilde seçmiştir. Çalışmasında ayrıca çizelge risklerinin özelliklerini de ele almıştır. Sunduğu yöntemin proje yöneticilerinin, belirsiz çizelgeleme ortamında, en düşük gecikme olasılığıyla çizelge seçimi yapmasına katkı sağladığını örnek bir elektronik ürün geliştirme projesinde göstermiştir.

Chen ve Chang [33] çalışmalarında son yıllarda bulanık küme teorisi tabanlı bulanık PERT yöntemlerinde bazen kritik yolun bulunamaması gibi sakıncaların bulunması sebebiyle bu sorunu çözecek bir algoritma geliştirmişlerdir. Bulanık proje şebekesinde tüm faaliyet sürelerinin bulanık sayılarla ifade ederek mümkün olabilecek birçok yolu bulan bir bulanık PERT algoritması sunmuşlardır.

Fargier [34] çalışmasında bulanık proje çizelgeleme probleminde görevlerin belirsiz sürelerini bulanık aralıklarla modellemiştir. Önceden tam olarak tatmin edici bir şekilde çözülemeyen geç başlama ve bolluk zamanlarının belirlenmesi problemini, kesin bir şekilde, olasılık teorisi çatısında, paralel diyagram serileriyle çözmüştür. Öncelikle ara değerli süreleri belirlemiş daha sonra bunları bulanık aralıklara uzatmıştır.

Tsai ve Gemmill [35] çalışmalarında kaynak kısıtlı rastsal hale getirilmiş faaliyet süreleri olan proje çizelgeleme problemlerinde iyi çözümler bulmak için tabu araştırmaları yöntemini sunmuşlardır. Tabu araştırmalarında çoklu tabu listelerini kullanmışlar, rastsal hale getirilmiş kısa zamanlı hafıza ve çoklu başlangıç çizelgeleri aramanın daha da genişlemesini sağlamıştır. Sundukları yöntemin hem deterministik hem de stokastik problemlerde iyi çözüm bulmak için verimli bir yol olduğunu göstermişlerdir. Araştırdıkları örnek projelere göre deterministik problemlerin çoğunluğunda optimal çizelgeler bulmuşlardır. Yaptıkları hesaplamalar tabu araştırmalarının var olan sezgisel algoritmalarından çok daha üstün olduğunu göstermiştir.

Hapke ve diğ. [36] çok bölümlü kaynak kısıtı olan çok modlu proje çizelgeleme problemlerinde faaliyetlerin zamanlarını bulanık zaman parametreleri olarak bulanık sayılar için güçlü-zayıf karşılaştırması yapan bir çizelgeleme yöntemi kullanmışlardır. Problem çok amaçlı olduğu için Pareto kümesinin tahmini için Pareto Tavlama Benzetimini kullanmışlardır. Işık hüzmeleri arama yönteminin kesikli sürümü, oluşturulan çözümlerin etkileşimli analizinde ve karar vericinin uzlaşılan en iyi çizelgeyi seçmesine yardımcı olmuştur.

Hapke ve Slowinski [37] kaynak kısıtlı proje çizelgeleme problemlerinde kullanılan mevcut öncelikli sezgisel yöntemler için bir genelleme sunmuşlardır. Genellemede zaman parametrelerini kesin almak yerine bulanık olarak ele almışlardır. Öncelik listeleri oluşturmak için

bulanık sıralama yöntemini ileri sürmüşlerdir. Yöntemin performansını bir örnek üzerinde göstermişlerdir.

#### 4.3. Örnek Problem: Paralel Kanguru Algoritmasıyla Bulanık Proje Çizelgeleme

Kanguru algoritması literatürde “Pollard’ın Kangurusu” veya “Pollard’ın Rho algoritması-Rho algoritması” veya “Pollard’ın Lambda algoritması” olarak da bilinmektedir. Kanguru algoritmasını ilk defa 1978 yılında Pollard ortaya attı. Rho algoritması veya Lambda algoritması ismi bu algoritmaların görüntülerinin Yunan harflerindeki  $\lambda$ 'ya olan benzerliğine işaret etmektedir [38]. Kanguru algoritması, tavlama benzetiminden esinlenen fakat çok daha farklı bir arama stratejisi olan stokastik kökenli bir yaklaşıklık yöntemidir [39]. Günümüzde kesikli logaritma problemlerinin (Discrete Logarithm Problem) çözümünde bilinen en iyi yöntem Pollard’ın Paralel Rho ve Kanguru algoritmalarıdır [40].

Kanguru metodu, amacı  $f(u)$  gibi bir fonksiyonunu minimize etmek olan, tekrarlamalı bir sürece yerleştirilerek uygulanır. Ele alınan problemdeki mevcut çözüm  $u'$ ’yu rastsal seçimle belirlediği, daha iyi bir çözüm olan komşusu  $N(u)$  ile değiştirir. Algoritma, “ $A$ ” defa bu işlemi tekrarlayarak sonucu iyileştirmeye çalışır. Burada  $A$  algoritmanın bir parametresidir. Eğer çözümde iyileşme olmazsa “zıplama” işlemiyle yerel minimumun etkisinden kaçılır. Bu aşamada mevcut çözüme bir iyileşme olması zorunlu değildir. Bu işlem  $N'(u)$  gibi farklı bir komşuluk tanımı kullanılabilir. Durma kriteri, maksimum iterasyon sayısı veya amaç fonksiyonunun alt sınırı olabilir. Tekrarlamalı süreçte karşılaşılan en iyi çözüm  $u^*$  hafızaya alınır. İşlem sonunda  $u^*$  algoritma tarafından bulunan “optimal” sonuçtur [39].

Komşu  $N(u)$ ,  $u'$ ’dan  $i$  ve  $i+1$ ’de bulunan işlerin permütasyonla elde edilen  $u'$  çözümlerinin bir kümesidir [39]. Örneğin, Eğer  $u=[4\ 1\ 3\ 5\ 2]$  ise,  $N(u)=\{ [1\ 4\ 3\ 5\ 2], [4\ 3\ 1\ 5\ 2], [4\ 1\ 5\ 3\ 2], [4\ 1\ 3\ 2\ 5], [2\ 1\ 3\ 5\ 4] \}$  kümesini göstermektedir. Mevcut çözümde yeni bir iyileştirmenin mümkün olmadığı durumda  $u$ , “zıplama” işlemi yapılarak  $u'$  çözümlüyle değiştirilir.

Paralel Kanguru Algoritması, başlangıç noktası  $e_0=g^b$  ile gösterilen bir evcil kanguru olan  $E$  ve başlangıç noktası  $v_0=h$  ile gösterilen bir vahşi kanguru  $V$  ile çalışır.  $g$ ’nin üs olduğu durumlarda,  $V$  bilinmeyen bir  $x$  noktasından başlarken  $E$  bilinen bir tamsayı ile çalışmaya başlar. Bir dizi zıplama yapan kangurular karışık bir fonksiyon oluşturur. Zıplamalar mutlak bir sayı olduktan sonra evcil kanguru durur ve fonksiyonda dolaşımını bitirdiği noktaya  $EM$  ile gösterilen bir tuzak kurar. Daha sonra vahşi kanguru aynı fonksiyon üzerinde gezinmeye başlar. Bilinen bir değerden yola çıkan  $E$ ’nin tam değeri bilinir fakat bilinmeyen  $x$  noktasından fonksiyona giren  $V$ ’nin durumu bilinmez. Bu yüzden  $V$  vahşi olarak adlandırılır.  $V$ ’nin fonksiyondaki her zıplayışından sonra tuzağa düşüp düşmediği kontrol edilir.  $V$ ’nin tuzağa düşmesi durumunda,  $VN$  olarak kabul edilir ve  $EM=VN$  ile eşitlenir. Diğer yandan mutlak bir sayı değerinden sonra vahşi kangurunun zıplamaları durabilir ve yeni bir vahşi kanguru o noktaya kadar görülen en küçük zıplama aralığından yola çıkar. Eğer  $V$ ,  $E$ ’nin tuzağına düşüyorsa bunun anlamı benzer noktalardan geçen iki kangurunun daha önceden fonksiyon üzerinde karşılaşmış olmalarıdır. Vahşi kanguru belirli bir zıplama sayısından sonra tuzağına düşmeli ya da durmalıdır. Eğer vahşi kanguru, evcil kangurunun tuzağına düşüyorsa daha önce bu iki kangurunun aynı noktada denk geldiği sonucu anlaşılır [41].

#### Paralel Kanguru Algoritması Adımları

1. Adım Öncelik ilişkilerine göre seçilebilecek faaliyetleri belirle. (Öncülü olmayan veya öncülü tamamlanmış olan faaliyetler.)
2. Adım Kaynak çakışma kontrolünü yap.
  - a. Seçilebilecek faaliyetlerin kaynak ihtiyacı mevcut kaynak miktarından fazla ise kaynak çakışması var demektir. 3. Adıma git.

b. Seçilebilecek faaliyetlerin kaynak ihtiyacı mevcut kaynak miktarına eşit veya az ise çakışma yoktur. Bu faaliyetleri seç. 4.Adıma git.

3.Adım Seçilecek faaliyetin belirle

a. Evcil kanguru için rastsal olarak bir faaliyet seç.

b. Vahşi kanguru için evcil kangurunun seçmediği bir faaliyeti rastsal olarak seç.

4.Adım Seçilen faaliyetleri çizelgele.

Seçilen faaliyetlerin öncüllerinin tamamlanma zamanlarına göre başlama zamanlarını ve tamamlanma zamanlarını hesapla.

5.Adım Algoritmayı sonlandırma kontrolünü yap.

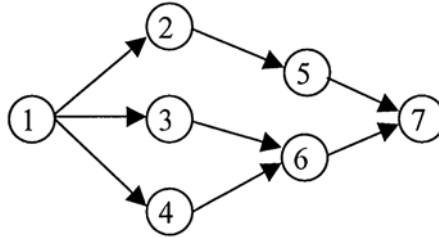
a. Eğer bütün faaliyetler çizelgelenmişse algoritmayı sonlandır.

b. Eğer bütün faaliyetler çizelgelenmemişse 1.Adıma dön.

### Örnek Problem

Paralel kanguru algoritması ile çözülen problem, Wang'ın [32] çalışmasından alınmıştır. Örnek proje, yedi faaliyetten oluşmaktadır. Bu faaliyetlerin öncelik ilişkileri, süre ve kaynak ihtiyaçları, Şekil 5'te ve

Çizelge 2'de sunulmuştur. Projenin bulanık en erken başlama zamanı (0,1,1,1) olarak belirlenmiştir. Sadece bir çeşit kaynağın bulunduğu ve bu kaynağın bulunabilirliğinin 2 olduğu varsayılmıştır.



Şekil 5. Örnek problemin öncelik ilişkileri diyagramı [32]

Çizelge 2. Örnek problemin faaliyet süreleri ve kaynak ihtiyaçları [32]

Faaliyet	Süresi	Kaynak İhtiyacı
a <sub>1</sub>	(5,7,8,10)	1
a <sub>2</sub>	(8,10,15,18)	1
a <sub>3</sub>	(14,17,20,24)	1
a <sub>4</sub>	(9,12,16,20)	1
a <sub>5</sub>	(3,5,7,9)	1
a <sub>6</sub>	(5,9,12,15)	1
a <sub>7</sub>	(20,24,28,33)	1

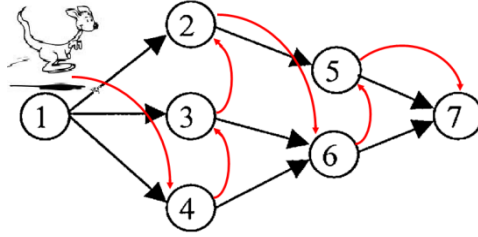
Başlangıçta öncelik ilişkilerine göre seçilebilecek tek faaliyet, hiçbir öncülü olmayan a<sub>1</sub> faaliyetidir. 2.Adımda kaynak ihtiyacı (1 birim) mevcut olan kaynaktan (2 birim) daha az olduğu için a<sub>1</sub> faaliyeti seçilir ve 4.Adıma gidilir ve bu faaliyetin çizelgelenmesi yapılarak başlama ve tamamlanma zamanları hesaplanır. 5.Adımda bütün faaliyetlerin (7 faaliyet) çizelgelenmediği görülür ve 1.Adıma geri dönlür. 2.Aşamada tekrar öncelik ilişkilerine göre seçilebilecek faaliyetler (a<sub>2</sub>, a<sub>3</sub>, a<sub>4</sub>) belirlenir. 2.Adımda bu faaliyetlerin kaynak ihtiyacının (3 birim) mevcut kaynaktan (2 birim) daha fazla olduğu görülür ve 3.Adıma gidilir. Bu adımda evcil kanguru rastsal olarak bir faaliyeti (a<sub>4</sub>) seçer, vahşi kanguru rastsal olarak evcil kangurunun seçmediği bir faaliyeti (a<sub>2</sub>) seçer. 4.Adımda seçilen faaliyetlerin öncüllerinin tamamlanma zamanlarına göre

başlama zamanları ve tamamlanma zamanları hesaplanır. 5.Adımda bütün faaliyetlerin (6 faaliyet) çizelgelenmediği görülür ve 1.Adıma geri dönülür. Bu işlem tüm faaliyetler çizelgeleninceye kadar devam eder. Bulunan sonuçlara göre vahşi kanguru, 1-2-4-5-3-6-7 faaliyet sırasıyla çizelgeleyerek (53,70,85,103) süresinde projeyi tamamlarken (bkz Çizelge 3) evcil kanguru, 1-4-3-2-6-5-7 sırasıyla

Şekil 6'da görüldüğü gibi çizelgeleyerek (45,59,75,91) süresinde projeyi tamamlamaktadır (bkz. Çizelge 4).

Çizelge 3. Vahşi kanguru ile elde edilen çizelge

Aşama	Alternatifler	Seçilen Faaliyet	Kaynak ihtiyacı	Mevcut kaynak	Başlama zamanı	Tamamlanma zamanı
1	a <sub>1</sub>	a <sub>1</sub>	1	2	(0,1,1,1)	(5,8,9,11)
2	a <sub>2</sub> , a <sub>3</sub> , a <sub>4</sub>	a <sub>2</sub>	3	2	(5,8,9,11)	(13,18,24,29)
3	a <sub>3</sub> , a <sub>4</sub> , a <sub>5</sub>	a <sub>4</sub>	3	1	(5,8,9,11)	(14,20,25,31)
4	a <sub>3</sub> , a <sub>5</sub>	a <sub>5</sub>	2	1	(13,18,24,29)	(16,23,31,38)
5	a <sub>3</sub>	a <sub>3</sub>	1	1	(14,20,25,31)	(28,37,45,55)
6	a <sub>6</sub>	a <sub>6</sub>	1	1	(28,37,45,55)	(33,46,57,70)
7	a <sub>7</sub>	a <sub>7</sub>	1	2	(33,46,57,70)	(53,70,85,103)



Şekil 6. Evcil kanguru ile belirlenen çizelge yolu

Çizelge 4. Evcil kanguru ile elde edilen çizelge

Aşama	Alternatifler	Seçilen Faaliyet	Kaynak ihtiyacı	Mevcut kaynak	Başlama zamanı	Tamamlanma zamanı
1	a <sub>1</sub>	a <sub>1</sub>	1	2	(0,1,1,1)	(5,8,9,11)
2	a <sub>2</sub> , a <sub>3</sub> , a <sub>4</sub>	a <sub>4</sub>	3	2	(5,8,9,11)	(14,20,25,31)
3	a <sub>2</sub> , a <sub>3</sub>	a <sub>3</sub>	2	1	(5,8,9,11)	(19,25,29,35)
4	a <sub>2</sub> , a <sub>6</sub>	a <sub>2</sub>	2	1	(14,20,25,31)	(22,30,40,49)
5	a <sub>5</sub> , a <sub>6</sub>	a <sub>6</sub>	2	1	(19,25,29,35)	(24,34,41,50)
6	a <sub>5</sub>	a <sub>5</sub>	1	1	(22,30,40,49)	(25,35,47,58)
7	a <sub>7</sub>	a <sub>7</sub>	1	2	(25,35,47,58)	(45,59,75,91)

## 5. SONUÇ

Günümüzde küreselleşmeyle artan rekabet sebebiyle projelerin yönetimi çok daha fazla önem kazanmıştır. Başarılı bir proje için etkili ve verimli proje yönetimi tekniklerinin kullanılması kaçınılmazdır. Uygulanan kötü bir strateji hedeflenen kârın zarara dönüşmesine neden olabilir. Proje yönetiminin en önemli aşamalarından biri olan proje çizelgelemenin artık çok daha etkili ve verimli yapılması gerekmektedir.

Bugün bilgisayarlarla tasarım, hesaplama, modelleme, yönetim, süreçlerin ve projelerin kontrolü çok daha etkili ve verimli bir şekilde yapılabilmektedir. Ancak projelerin

çizelgenmesinde karşılaşılan belirsizlikler ve kısıtlar nedeniyle optimal sonucun elde edilmesi günümüz bilgisayarlarıyla bile pek mümkün olmamakta veya maliyetli olmakta ve uzun sürmektedir.

Endüstri Mühendisliği alanında son yıllarda yapılan çalışmaların önemli bir bölümünde bulanık küme teorisini temel alan tekniklerin kullanıldığı görülmektedir. Bu konu hakkında çok sayıda çalışma yapılmış, değişik alanlarda uygulanmış ve önemli sonuçlar elde edilmiştir. Belirsizliklerin çözümünde yeni bir çığır açan bulanık küme teorisi alanında yapılan çalışmalar günümüzde de hız kesmeden devam etmektedir.

Proje çizelgeleme alanında, projelerin doğasından kaynaklanan belirsizliklerin çözümünde, bulanıklığın kullanımıyla “bulanık proje çizelgeleme” kavramı ortaya çıkmış ve bu konu, günümüzde artan önemi sebebiyle, birçok araştırmacının dikkatini çekmiştir. Bulanık proje çizelgelemede, projenin karmaşıklığı ve projede arıza veya bekleme oluşması gibi durumlar nedeniyle geleneksel yöntemlerle çözümü çok zor olan problemlerin çözümde meta sezgisel yöntemlerin kullanımı kısa sürede iyi çözümlerin elde edilmesini sağlamaktadır.

Gerçek hayatta ilk defa yapılacak olan projelerde kullanılacak olan kaynaklar belirsizdir. Bu belirsizlik ancak bulanık mantık tekniklerinin kullanımı ile giderilebilir. Bulanık proje çizelgeleme problemlerinin çözümü ile ilgili literatürde henüz optimum çözüm veren meta sezgisel yöntemler geliştirilememiştir. İleriki çalışmalarda, yeni meta sezgisel yöntemlerin geliştirilmesi yada mevcut olanların melez olarak kullanımı ile optimuma yakın çözümler elde edileceği beklenmektedir.

## REFERENCES / KAYNAKLAR

- [1] Pinedo, M. “*Scheduling Theory, Algorithms and Systems*,” Springer. 2008, 1-21.
- [2] Seçkin, H. “*Path Based Priority Rule For Resource Constrained Project Scheduling Problems*.” Thesis for the Degree of Master of Science in Industrial Engineering Programme, T.C. Marmara University Institute for Graduate Studies in Pure and Applied Sciences. 2005.
- [3] Celikyilmaz, A. & Türksen, I. B. “*Modeling Uncertainty with Fuzzy Logic*,” Springer-Verlag Berlin Heidelberg. 2009, XI-13.
- [4] Herroelen, W. & Leus, R. Project scheduling under uncertainty: Survey and research potentials. “*European Journal of Operational Research*,” 165, 289-306. 2005.
- [5] Guiffrida, A. L. & Nagi, R. Fuzzy set theory applications in production management research: a literature survey. “*Journal of Intelligent Manufacturing*,” 9, 39-56. 1998.
- [6] Yılmaz, M. K., Kökçam, A. H., Duvarcı, V., Fırlalı, A., Ayöz, M. & Engin, O. “Paralel Kanguru Algoritması Yardımıyla Beklemesiz Akış Tipi Çizelgeleme Problemlerinin Çözümü Yöneylem Araştırması ve Endüstri Mühendisliği” 29. Ulusal Kongresi, Bilkent Üniversitesi, Ankara (2009), 22-24 Haziran.
- [7] Brucker, P., Drexl, A., Mohring, R., Neumann, K. & Pesch, E. Resource-constrained project scheduling: Notation, classification, models, and methods. “*European Journal of Operational Research*,” 112, 3-41. 1999.
- [8] Kolisch, R. & Padman, R. An integrated survey of deterministic project scheduling. “*Omega-International Journal of Management Science*,” 29, 249-272. 2001.
- [9] Paksoy, S. “*Genetik Algoritma ile Proje Çizelgeleme*.” Doktora Tezi, T.C. Çukurova Üniversitesi 2007.
- [10] Weaver, P. (2007). A Brief History of Scheduling. Available: [www.mosaicprojects.com.au](http://www.mosaicprojects.com.au) [Accessed April 10, 2009].
- [11] Özdemir, G. “*Kısıtlı Kaynaklarla Proje Çizelgelemesi Problemlerinde Kullanılan Genetik Algoritma Metodları ve Bunların Karşılaştırılması*.” Yüksek Lisans Tezi, T. C. Ankara Üniversitesi. 2006.

- [12] Abdallah, H., Emara, H. M., Dorrah, H. T. & Bahgat, A. Using Ant Colony Optimization algorithm for solving project management problems. *"Expert Systems with Applications,"* 36, 10004-10015. 2009.
- [13] O'Brien, J. J. & Plotnick, F. L. *"CPM in Construction Management,"* McGraw-Hill. 2006, 3-13.
- [14] Çubukçu, R. *"Proje Yönetiminde Zaman ve Maliyet Risklerinin Çizelgeleme Yöntemiyle Minimize Edilmesi."* Doktora Tezi, Çukurova Üniversitesi. 2008.
- [15] Larsen, H. L. Fundamentals of fuzzy sets and fuzzy logic. *"AAUE Computer Science Course in Fuzzy Logic Lecture 1."* 2005.
- [16] Zadeh, L. A. Fuzzy Sets. *"Information and Control,"* 8, 338-353. 1965.
- [17] Pan, H. Q. & Yeh, C. H. A metaheuristic approach to fuzzy project scheduling. *"Knowledge-Based Intelligent Information and Engineering Systems, Pt 1, Proceedings,"* 2773, 1081-1087. 2003.
- [18] Klein, R. *"Scheduling of Resource-Constrained Projects,"* Klumer. 2000, 42-95.
- [19] Held, M. & Karp, R. M. A Dynamic Programming Approach to Sequencing Problems. *"Journal of the Society for Industrial and Applied Mathematics,"* 10, 196-210. 1962.
- [20] Ke, H. & Liu, B. D. Fuzzy project scheduling problem and its hybrid intelligent algorithm. *"Applied Mathematical Modelling,"* 34, 301-308. 2010.
- [21] Wang, X. & Huang, W. Fuzzy resource-constrained project scheduling problem for software development. *"Wuhan University Journal of Natural Sciences,"* 15, 25-30. 2010.
- [22] Sharafi, M., Jolai, F., Iranmanesh, H. & Hatefi, S. M. A Model for Project Scheduling with Fuzzy Precedence Links. *"Australian Journal of Basic and Applied Sciences,"* 2, 1356-1361. 2008.
- [23] Yousefli, A., Ghazanfari, M., Shahanaghi, K. & Heydari, M. A New Heuristic Model for Fully Fuzzy Project Scheduling. *"Journal of Uncertain Systems,"* 2, 75-80. 2008.
- [24] Long, L. D. & Ohsato, A. Fuzzy critical chain method for project scheduling under resource constraints and uncertainty. *"International Journal of Project Management,"* 26, 688-698. 2008.
- [25] Liu, Y., Zhao, S. L., Zhang, X. P. & Du, G. Q. A GA-based approach for solving fuzzy project scheduling. *"Proceedings of 2007 International Conference on Machine Learning and Cybernetics, Vols 1-7,"* 3153-3156. 2007.
- [26] Soltani, A. & Haji, R. A Project Scheduling Method Based on Fuzzy Theory. *"Journal of Industrial and Systems Engineering,"* 1, 70-80. 2007.
- [27] Chen, C. T. & Huang, S. F. Applying fuzzy method for measuring criticality in project network. *"Information Sciences,"* 177, 2448-2458. 2007.
- [28] Šeda, M. Flexible Heuristics for Project Scheduling with Limited Resources. *Proceedings of World Academy of Science, (2007): Engineering and Technology,* 170-174.
- [29] Ke, H. & Liu, B. D. Project scheduling problem with mixed uncertainty of randomness and fuzziness. *"European Journal of Operational Research,"* 183, 135-147. 2007.
- [30] Liu, S., Yung, K. L. & Ip, W. H. Genetic Local Search for Resource-Constrained Project Scheduling under Uncertainty. *"Information and Management Sciences,"* 18, 347-363. 2007.
- [31] Pan, H. Q. & Yeh, C. H. Fuzzy project scheduling. *"Proceedings of the 12th IEEE International Conference on Fuzzy Systems," Vols 1 and 2,* 755-760. 2003.
- [32] Wang, J. T. A fuzzy project scheduling approach to minimize schedule risk for product development. *"Fuzzy Sets and Systems,"* 127, 99-116. 2002.
- [33] Chen, S. M. & Chang, T. H. Finding multiple possible critical paths using fuzzy PERT. *"IEEE Transactions on Systems Man and Cybernetics Part B-Cybernetics,"* 31, 930-937. 2001.

- [34] Fargier, H., Galvagnon, V. & Dubois, D. Fuzzy PERT in series-parallel graphs. “*Ninth Ieee International Conference on Fuzzy Systems (Fuzz-Ieee 2000)*”, Vols 1 and 2, 717-722. 2000.
- [35] Tsai, Y. W. & Gemmill, D. D. Using tabu search to schedule activities of stochastic resource-constrained projects. “*European Journal of Operational Research*”, 111, 129-141. 1998.
- [36] Hapke, M., Jaskiewicz, A. & Slowinski, R. Fuzzy project scheduling with multiple criteria. “*Proceedings of the Sixth Ieee International Conference on Fuzzy Systems*”, Vols I – Iii, 1277-1282. 1997.
- [37] Hapke, M. & Slowinski, R. Fuzzy priority heuristics for project scheduling. “*Fuzzy Sets and Systems*”, 83, 291-299. 1996.
- [38] Engin, O., Yılmaz, M. K., Fırlalı, A. & Fırlalı, N. A parallel kangaroo algorithm for multi objective flow shop scheduling IMS'2008 6th International Symposium on Intelligent and Manufacturing Systems, Sakarya, Turkey (2008), October 14-16.
- [39] Serbencu, A., Minzu, V. & Serbencu, A. An Ant Colony System Based Metaheuristic for Solving Single Machine Scheduling Problem. “*The Annals of “Dunarea de Jos” University of Galati Fascicle III.*” 2007.
- [40] Teske, E. Computing discrete logarithms with the parallelized kangaroo method. “*Discrete Applied Mathematics*”, 130, 61-82. 2003.
- [41] Teske, E. Square-root algorithms for the discrete logarithm problem (a survey). “*Public-Key Cryptography and Computational Number Theory*”, 283-301. 2001.