

İSTANBUL TEKNİK ÜNİVERSİTESİ ★ FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

**TARIMSAL SÜREÇLERİN HİBRİT PETRİ AĞLARI İLE
MODELLENMESİ**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Ayhan ÖZGÜN

Elektronik ve Haberleşme Mühendisliği Anabilim Dalı

Elektronik Mühendisliği Programı

HAZİRAN 2015

İSTANBUL TEKNİK ÜNİVERSİTESİ ★ FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

**TARIMSAL SÜREÇLERİN HİBRİT PETRİ AĞLARI İLE
MODELLENMESİ**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

**Ayhan ÖZGÜN
(504121358)**

**Elektronik ve Haberleşme Mühendisliği Anabilim Dalı
Elektronik Mühendisliği Programı**

Tez Danışmanı: Doç. Dr. Mürvet KIRCI

HAZİRAN 2015

İTÜ, Fen Bilimleri Enstitüsü'nün 504121358 numaralı Yüksek LisansÖğrencisi **Ayhan ÖZGÜN**, ilgili yönetmeliklerin belirlediği gerekli tüm şartları yerine getirdikten sonra hazırladığı “**TARIMSAL SÜREÇLERİN HİBRİT PETRİ AĞLARI İLE MODELLENMESİ**” başlıklı tezini aşağıda imzaları olan jüri önünde başarı ile sunmuştur.

Tez Danışmanı : **Doç. Dr. Mürvet KIRCI**
İstanbul Teknik Üniversitesi

Jüri Üyeleri : **Prof. Dr. Ece Olcay GÜNEŞ**
İstanbul Teknik Üniversitesi

Doç. Dr. Ahmet ONAT
Sabancı Üniversitesi

Teslim Tarihi: **04 Mayıs 2015**
Savunma Tarihi: **02 Haziran2015**

ÖNSÖZ

Yüksek lisans eğitimim süresince çalışmalarımda bana yol gösteren, karşılaştığım problemlerin çözümü için kendi vaktinden feragat ederek, gerektiğinde ekstra çaba harcayarak hiçbir yardımı esirgemeyen, bu süreç boyunca hep desteğinin yanımda olduğundan emin olduğum, bu nedenle de katkılarından ötürü her zaman minnet duyacağım çok değerli danışman hocam Doç. Dr. Mürvet KIRCI'ya en içten duygularıyla teşekkürlerimi sunarım.

Ayrıca çalışmalarım süresince maddi ve manevi destekleriyle yanımda olan, bana eğitimimi başarıyla tamamlamam için tavsiyeleriyle güç veren annem, babam ve ablama, bu aşamaya gelmemde emeği geçen tüm hocalarıma teşekkür ederim.

Haziran 2015

Ayhan ÖZGÜN
Elektronik Mühendisi

İÇİNDEKİLER

	<u>Sayfa</u>
ÖNSÖZ.....	V
İÇİNDEKİLER.....	vii
KISALTMALAR.....	ix
ÇİZELGE LİSTESİ.....	xi
ŞEKİL LİSTESİ.....	xiii
ÖZET.....	xv
SUMMARY.....	xvii
1.GİRİŞ	1
2.PETRİ AĞLARI	7
2.1Petri Ağının Bileşenleri.....	8
2.2Petri Ağlarının Davranışsal Özellikleri.....	11
2.2.1Erişilebilirlik	11
2.2.2Sınırlılık	12
2.2.3Tutarlılık	13
2.2.4Canlılık	14
2.2.5Tersinirlik.....	15
2.2.6Kapsanabilirlik	15
2.2.7Devamlılık	15
2.3Analiz Yöntemleri	15
2.3.1Erişilebilirlik ağacı	16
2.3.2Değişim-olay matrisi	17
2.4Zaman Etiketli Petri Ağları	19
3.SÜREKLİ PETRİ AĞLARI.....	21
4.HİBRİT PETRİ AĞLARI	25
5.OLUŞTURULAN MODELLER	29
5.1Kapasite Planlaması.....	31
5.2Görev Zamanı Planlaması.....	42
5.3Program Oluşturma.....	50
5.4Güzergah Planlaması	59
5.5Performans Değerlendirme	67
6.SONUÇLAR VE ÖNERİLER.....	75
KAYNAKLAR.....	77
ÖZGEÇMİŞ	79

KISALTMALAR

ASABE	: American Society of Agricultural and Biological Engineers (Amerikan Ziraat ve Biyoloji Mühendisleri Topluluğu)
SA	: Simulated Annealing (Benzetimli Tavlama)
GA	: GeneticAlgorithm (Genetik Algoritma)
PA	: Petri Ağı
SPA	: Sürekli Petri Ağı
HPA	: Hibrit Petri Ağı
BZ	: Birim Zaman
INA	: Integrated Net Alalyzer (Entegre Ağ Analizörü)

ÇİZELGE LİSTESİ

Sayfa

Çizelge 2.1 : Geçiş ve yerler için kullanılabilecek bazı anlamlar.	8
Çizelge 5.1 : Nem oranındaki değişimin kurutma maliyetine etkisi.	32
Çizelge 5.2 : Kapasite planlaması modelinde yer alan yer ve geçişler.	34
Çizelge 5.3 : Nem oranının kurutma maliyetine etkisi.	36
Çizelge 5.4 : Geçiş çalışma hızları.	37
Çizelge 5.5 : Geçiş çalışma hızları.	40
Çizelge 5.6 : Yer ve geçişlerin açıklamaları.	44
Çizelge 5.7 : Geçiş çalışma hızları.	46
Çizelge 5.8 : Geçiş çalışma hızları.	48
Çizelge 5.9 : Yer ve geçişlere ilişkin açıklamalar.	52
Çizelge 5.10 : Geçişlerin tetiklenme miktarları ve gecikme zamanları.	54
Çizelge 5.11 : Yer ve geçişlerin açıklamaları.	61
Çizelge 5.12 : Geçiş/ok çalışma hızları/ağırlıkları.	63
Çizelge 5.13 : Güzergah planlaması modeli için seçilen bileşenler.	64
Çizelge 5.14 : Geçiş/ok çalışma hızları/ağırlıkları.	65
Çizelge 5.15 : Geçiş/ok çalışma hızları/ağırlıkları.	69
Çizelge 5.16 : Performans değerlendirme modelinin erişilebilir durumları.	72
Çizelge 5.17 : Ateşleme dizileri.	73

ŞEKİL LİSTESİ

Sayfa

Şekil 2.1 : Petri ağı elemanları	7
Şekil 2.2 : Örnek petri ağı	9
Şekil 2.3 : Ateşleme sonrası ağıın işaretlemesi	10
Şekil 2.4 : Sıradan petri ağı	10
Şekil 2.5 : Temiz petri ağı	10
Şekil 2.6 : Öz çevrim	11
Şekil 2.7 : Öz çevrimin temiz ağı dönüşürülmesi	11
Şekil 2.8 : Örnek petri ağı	11
Şekil 2.9 : T3 geçişinin tetiklenmesi ile oluşın durum	12
Şekil 2.10 : T1 geçişinin tetiklenmesi ile oluşın durum	12
Şekil 2.11 : Güvenli petri ağı	13
Şekil 2.12 : Sınırsız petri ağı	13
Şekil 2.13 : Tutarlı petri ağı	14
Şekil 2.14 : Canlı petri ağı	14
Şekil 2.15 : Örnek petri ağı	16
Şekil 2.16 : Erişilebilirlik ağacı	17
Şekil 2.17 : Örnek petri ağı	18
Şekil 2.18 : Petri ağıının yeni durumu	19
Şekil 3.1 : Sürekli yer ve geçiş sembolleri	21
Şekil 3.2 : Sürekli petri ağı	22
Şekil 3.3 : Sürekli petri ağı	23
Şekil 4.1 : Hibrit petri ağı yapısı	25
Şekil 4.2 : Ateşlemeden sonra hibrit petri ağıının durumu	26
Şekil 4.3 : Ayrık geçişler için izinlilik durumları	27
Şekil 4.4 : Sürekli geçişler için izinlilik durumları	28
Şekil 5.1 : Petri ağı modellerinde kullanılacak elemanlar	29
Şekil 5.2 : Yetkilendirici okun karşılığı	29
Şekil 5.3 : Örnek petri ağı	29
Şekil 5.4 : Örnek petri ağı	30
Şekil 5.5 : Kapasite planlaması için petri ağı modeli	33
Şekil 5.6 : Kapasite planlaması için örnek petri ağı modeli	38
Şekil 5.7 : Kapasite planlaması örneğı için petri ağı modeli	41
Şekil 5.8 : Görev zamanı planlaması için petri ağı modeli	43
Şekil 5.9 : Görev zamanı planlaması için petri ağı modeli	49
Şekil 5.10 : Program oluşturma yönetim görevi için petri ağı modeli	51
Şekil 5.11 : A tarlasında ekim işlemin yapılacak olan ve sulama işleminine hazır hale gelen alanların durumu	58
Şekil 5.12 : A tarlasında sulama işlemin yapılacak olan ve tamamlanan alanların durumu	58
Şekil 5.13 : B tarlasında ekim işlemin yapılacak olan ve sulama işleminine hazır hale gelen alanların durumu	58

Şekil 5.14: B tarlasında sulama işlemi yapılacak olan ve tamamlanan alanların durumu.....	59
Şekil 5.15 : Yol (güzergah) sıralaması ve dönüş türleri	60
Şekil 5.16 : Güzergah planlaması için örnek petri ağı modeli.....	60
Şekil 5.17 : Güzergah planlaması örneği için petri ağı modeli.	66
Şekil 5.18 : Performans değerlendirmeye ilişkin süreç şeması	67
Şekil 5.19 : Performans değerlendirme için örnek petri ağı modeli.	68

TARIMSAL SÜREÇLERİN HİBRİT PETRİ AĞLARI İLE MODELLENMESİ

ÖZET

Zirai faaliyetlerin yönetimi incelendiğinde, genel endüstriyel süreçlerin idaresinden daha karmaşık olduğu göze çarpmaktadır. Bunun sebebi tarımsal işlerde belirsizliklerin ve risk faktörlerinin, yerine göre işleyişin bütününe dahi etki edebilecek seviyede var olabilmesidir. Hava koşulları, çevresel ve biyolojik etkenler bu durumlara örnek olarak verilebilir. Bu nedenlerden dolayı tarımsal işlemlere ilişkin yapılacak planlamalar daha geniş bir açıdan göz önüne alınmalıdır.

Petri ağları, dağıtık, paralel, asenkron, eş zamanlı, nedensel olmayan ve/veya stokastik sistemler için kullanılan, matematiksel ve grafiksel özellikler taşıyan bir modelleme sistemidir. Bu nedenle yaygın bir kullanım alanına sahiptir. Zirai işlemler; tarlanın sürülmesi, ekim yapılması, sulama, gübreleme, hasat alımı gibi sürekli durumların yanı sıra makinelerin hazır durumda olması, arızalar, hava şartları, toprak durumu gibi ayrık olayları da içermektedir. Hibrit petri ağları ile tarımsal işlemlerde olduğu gibi, hem ayrık hem de sürekli süreçler modellenebilmektedir. Grafiksel özellikleri de göz önüne alındığında, hibrit petri ağları ile tarımsal süreçlerin modellenmesi, sadece matematiksel yaklaşımla yapılan modellemelere kıyasla üstünlük sağlamakta, süreçlerin daha iyi gözlemlenebilmesi için etkin bir yol sunmaktadır.

Bu çalışmada, tarımsal yönetim süreçlerine ilişkin modeller geliştirilmiştir. Ayrık ve sürekli her iki tür durumların da modellenebilmesi için hibrit petri ağları da kullanılmıştır. Oluşturulan modeller, ASABE standartlarına uygun olarak tanımlanan, kapasite planlaması, görev zamanı planlaması, program oluşturma, güzergâh planlaması ve performans değerlendirme olmak üzere beş yönetim görevi için kullanılabilecektir. Modeller, sadece verilecek örnekler için değil, genel olarak diğer tarımsal işlemler için de kullanılabilir. Literatürdeki zirai makine yönetimine ilişkin çalışmalar incelendiğinde program oluşturma safhası kapsamında tarla iş akışı yönetimi için petri ağları ile modelleme uygulamalarının yer aldığı görülmektedir. Ancak zirai makine yönetimine ilişkin beş yönetim görevinden diğerlerini içeren ve petri ağları ile gerçekleştirilen model bulunmamaktadır. Bu çalışma ile zirai makine yönetiminin beş aşaması için de, modellere bağlı olarak olası belirsizlik ve risk faktörlerini de içerebilecek ve bu etkenlere göre yeni değişkenlerin de tanımlanabileceği modeller sunulmuştur.

MODELING OF AGRICULTURAL PROCESSES WITH HYBRID PETRI NETS

SUMMARY

When management of agricultural activities are analyzed, it is noticeable that they are more complicated than the administration of general industrial processes. The reason for this is that uncertainty and risk factors in agricultural work may be so strong as to affect the overall activity. Weather conditions, environmental and biological factors can be cited as examples of this case. For these reasons, plans to be conducted for agricultural activities must be considered from a broader perspective.

In order to increase the productivity of agricultural activities, the structural improvement of agricultural vehicles has been taken into consideration. However, there is no opportunity to make much of a change in characteristics such as size and weight of the vehicle due to the conditions in agricultural activities and the aforementioned factors. Nevertheless, with advances in technology, transfer to the use of smart devices and autonomous systems in many areas has been started. Efficiency can be increased and environmental effects can be reduced with the use of these systems in agricultural activities. However, the effective use of those advances requires reconsideration of the agricultural machinery management processes.

According to the ASABE standards, management of agricultural vehicles can be grouped under four headings:

- 1) Planning
- 2) Scheduling
- 3) Operating
- 4) Controlling

It is seen that five management levels are described in general for agricultural production management processes in literature;

- 1) Strategic
- 2) Tactical
- 3) Operational
- 4) Execution
- 5) Evaluation

Considering both ASABE standards and general management levels by Bochtis et. al (2014), 5 basic management tasks are stated for the management of agricultural vehicles: Capacity planning, task times planning, scheduling, route planning and performance evaluation. Capacity planning corresponds to strategic level, task times planning corresponds to tactical level, scheduling corresponds to operational level, route planning corresponds to execution phase and performance evaluation

corresponds to the evaluation level. When considered with regard to ASABE Standards, capacity planning and task times planning can be evaluated in planning section, scheduling as in its own section, route planning in operating section and performance evaluation in controlling section. With these features, five basic management tasks contain most of the matters put forward by ASABE Standards.

Petri nets enables to examine system analysis and functioning with a relatively simple approach due to being a modeling method with mathematical (state equations, algebraic equations, etc.) and graphical characteristics. It can be used in such systems as distributed, parallel, asynchronous, concurrent, non-causal and/or stochastic.

Agricultural activities consist of discrete events such as whether machines are ready to operate or not, breakdowns, weather conditions, soil condition as well as continuous events such as plowing the fields, planting, watering, fertilizing. As in agricultural activities, both discrete and continuous processes can be modeled with hybrid petri nets. When the graphical characteristics are taken into consideration, modeling of agricultural activities with hybrid petri nets outclasses the modellings based on mathematical approach, and offers an efficient way to observe processes.

When studies relating to the agricultural machinery management in the literature are analyzed, it is seen that petri nets and modellings are included for field workflow management within the scope of scheduling phase. However, no model has been found, which involves the other management tasks related to the agricultural machinery management and are implemented by petri nets.

In this study, models related to agricultural management processes have been developed. Hybrid petri nets were also used to model discrete and continuous cases. These models can be used for five management tasks which are defined in accordance with the ASABE standards and are capacity planning, task times planning, scheduling, route planning and performance evaluation. The models can be used not only for examples to be given but also for other agricultural activities. This study offers such models which cover five tasks of the agricultural machinery management that may include potential uncertainties and risk factors, and allow to define new variables based on these factors related to the model types.

In introduction, general history, characteristics and areas of use of petri nets are described. Applications in literature about their use in agriculture, standards relating to agricultural management, management tasks and levels are outlined.

In Section 2, basic information about petri nets are given. Mathematical definitions related to the petri nets, basic components, the structure, behavioral characteristics, firing rules and analysis methods of petri nets are mentioned.

In Section 3, continuous petri nets are discussed. Why continuous petri nets are used are mentioned. Basic components, firing and admission features are listed.

In Section 4, hybrid petri nets are described, which involve both discrete and continuous petri net structures. Advantages and main characteristics of hybrid nets are mentioned; mathematical definitions are made, and firing rules are examined. In addition, applications of them in agricultural areas and modeling approach are shown.

In Section 5, models developed for the management of agricultural tasks presented in a way that will also include the issues to be considered at the design stage and several examples are given regarding the operation of the models. Also, for the last

model, detailed analysis including liveness, reachable states and firing arrays is made.

In the last section, evaluation of the study is mentioned and some recommendations have been made regarding the issues which might be examined for future studies.

1. GİRİŞ

Petri ağları bir çok sistemin işleyişi için kullanılabilen, matematiksel (durum denklemleri, cebirsel denklemler vb.) ve grafiksel özellikler taşıyan bir modelleme yöntemidir. Bu özellikleri ile sistemlerin analizinin ve işleyişinin nispeten basit bir yaklaşımla incelenmesi imkanı sunar. Yaygın bir kullanım ağına sahip olan petri ağları, dağıtık, paralel, asenkron, eş zamanlı, nedensel olmayan ve/veya stokastik sistemlerde kullanılır.

Petri ağı teorisi 1962 yılında Alman matematikçi Carl Adam Petri'nin "Otomat ile Haberleşme (Communication with Automata)" konulu doktora tezi ile literatüre girmiştir [1]. Sonraki yıllarda petri ağları modelleme yöntemine ilişkin Carl Adam Petri tarafından ortaya konulan klasik yapıya pek çok yeni özellikler eklenmiş ve daha etkin bir modelleme sistemi elde edilmiştir. Yapılan geliştirmelerle klasik petri ağlarına ek olarak zamanlı (timed) petri ağları, renkli (colored) petri ağları, sürekli (continuous) petri ağları, hibrit (melez) petri ağları gibi yeni petri ağı türleri ortaya çıkmıştır. Bunun sonucunda petri ağları ayırık-olay sistemleri, veri akışı düzenleme sistemleri, hata-toleranslı sistemler, endüstriyel kontrol sistemleri, çok işlemcili hafıza sistemleri, dağıtık yazılım/veritabanı sistemleri, performans değerlendirme, haberleşme protokolleri, eş zamanlı ve paralel programlar gibi geniş bir alanda uygulama imkanı bulmuştur.

Petri ağlarının tarımsal yönetim süreçlerinde de kullanıldığı görülmektedir. Guan ve diğ. (2006), coğrafik olarak dağınık vaziyetteki tarım alanları için tarımsal iş akışını modellemek amacıyla petri ağlarını kullanmışlardır. 2. Dünya Savaşı'ndan sonra Japonya'da uygulanan tarımsal reformlar sonucunda, küçük ölçekli çiftliklerin yönetimi ve dağınık vaziyetteki çiftliklerin yapısının şekillendirilmesine yönelik problemler ortaya çıkmıştır. Sorunun çözümü için yerel toprak sahiplerine arazi kiralama ve tarımsal üretim işlerini yürüten şirketlerle işbirliği yoluna gidilmiştir. Dağınık durumdaki çiftliklerin kiralanması ve birleştirilmesi ile büyük ölçekteki tarım alanlarının bütünüyle mekanize olarak idare edilmesi sağlanmıştır. Ancak şirketler tarafından yönetilen bu arazilerin, yerine göre çok sayıda ve 10 km.'yi bulan yarıçapta bir alana dağılmış olabilmesi ve bu yüzden işlerin devamlılığı için bir

sahadan başka bir sahaya taşınma gereksinimi, faaliyetlerin yürütülmesinde etkinliği ve rekabet gücünü olumsuz yönde etkilemiştir. Ayrıca çiftçilerin şirket yönetimine alışkın olmamaları da çiftlik idaresini zayıflatmıştır. Bu nedenlerden dolayı tarla işlerinde sezon içerisinde gecikmeler meydana gelmiş ve en uygun zaman aralığı değerlendirilememiştir [3].

- Verimli mahsul üretimi için tarla işlerinin planlanması ,makine ve iş gücü seçimi ve dağıtımının kritik bir süreç olması,
- Tarımsal üretim şirketleri için çalışan personelin günlük iş yükünün yoğun olması ve çalışanların geleneksel yöntemlere alışık olmaları,
- Tarımsal süreçte, hava durumu, makine ve iş gücü gibi etkenlerdeki değişimlerin yol açtığı belirsizliklerin, alışlagelen yöntemlerle iş planlamasında sebep olduğu belirsizlikler

gibi nedenlerden ötürü tarım işleri için etkin bir iş planı modeli ihtiyacı doğmuştur. Guan ve diğ. (2006), öncelikle ayrık petri ağı modeli ile çiftçilerin kolaylıkla tarım sürecini anlayabilecekleri şekilde iş akışını resmetmişlerdir. Ancak bu durumda sadece ürün yetiştirme döngüsü modellenebilmektedir. Makine arızaları ya da hava durumu gibi belirsizlikler için modelin çevresel değişikliklere uygun hale getirilmesi gerekmektedir. Bu nedenle basit petri ağları, pratik tarla iş planlamasını modellemek için yeterli olmamakta, belirsizliklerin dikkate alınması durumunda başka geliştirmelere ihtiyaç duyulmaktadır[3].

Tarım işleri hem ayrık hem de sürekli süreçleri içermektedir. Makine arızaları gibi belirsizlikler, verilen molalar gibi durumlar ayrık olaylardır. Diğer taraftan, işlerin icra aşamasına geçildiğinde, iş gücü kapasitesi ve makine verimi ile belirlenen, çalışma hızı ile kontrol edilen devamlı bir süreç söz konusudur. İşte bu ayrık ve devamlı süreçler hibrit petri ağlarındaki ayrık ve sürekli modellere karşılık gelmektedir. Guan ve diğ. (2008) her iki süreci de dikkate alarak bu sefer oluşturdukları hibrit petri ağı modelini şeker kamışının yetiştirilmesi sürecine uyarlamışlardır. Ancak bu modelde bir işe kaynak atanması için ek bir sınırlama getirilmemiş, tarlalar arasındaki ulaşım mesafesi dikkate alınmamıştır. Ayrıca bir tarlanın bir sonraki aşamaya geçişi için (ekim, sulama, hasat alma gibi) beklenilmesi gereken zaman da göz ardı edilmiştir. Diğer taraftan tarımsal iş planlaması hibrit petri ağları modeli ile optimize edilmemektedir. Guan ve diğ. (2009)'de ise bu yaklaşım geliştirilerek uzun dönemli ürün yetiştirme programı için 2 aşamalı üst

sezgisel yaklaşımla, benzetimli tavlama (SA), genetik algoritma (GA) ve hibrit petri ağı modeline bağlı olarak kaynak atama ve program oluşturmaya ilişkin optimizasyon gerçekleştirilmiştir. Tarım alanlarının ve kaynakların başlangıç ve süreç içindeki durumları, makinelerin taşınma işlemleri, müşterek çalışma ve kilitlenmeleri (deadlock) elimine etme, ele alınan temel unsurlar olmuştur.

İkinci çalışmadaki petri ağı modelinde, ilk çalışmada dikkate alınmayan makinelerin sahalar arasında uzaklığa bağlı olarak taşınma zamanı ve işler arasındaki bekleme zamanları da dikkate alınmıştır [4].

ASABE standartlarına göre zirai araçların idaresi 4 başlık altında toplanabilir [5,6]:

- 1) Planlama
- 2) Program oluşturma
- 3) İşletme
- 4) Kontrol etme

Planlama aşamasında sistem bileşenlerinin seçimi ve sistem performans tahmini yapılır. Program oluşturma bölümünde zaman durumu, işgücü desteği, ürün ihtiyaçları ve iş öncelikleri gibi etkenlerin katkısı göz önüne alınarak işlerin icrası planlanır. İşletme kısmında işler, iş gücü ve makineler vasıtasıyla yerine getirilir. Kontrol aşamasında ise üretime yönelik çeşitli tedbirler ve standartlar ile sistemin kontrolü yapılır [5].

Aşağıda tarımsal üretim yönetimi işlemleri için tanımlanan seviyeler yer almaktadır [5,7]:

- 1) Stratejik
- 2) Taktiksel
- 3) İşlevsel
- 4) İcra
- 5)Değerlendirme

Stratejik seviyede, özellikle seçilen ürün çeşitleri ile bağlantılı iş gücü/makine sisteminin, 1-5 yıl veya 2 ya da daha fazla hasat döngüsünün üretim sisteminin tasarlanması yer alır. Taktiksel seviyede, örneğin iş gücü ve makine kullanımının mevcut hasat planına göre uyarlanmasıyla, kaynak kullanımını azaltan 1-2 yıllık veya

1-2 hasat dönemi için bir üretim planı oluşturulur. İşlevsel seviyede, kısa vadeli işlerin zamanlaması ile, işlerin ve görevlerin icra edilmesini içeren, hâlihazırdaki hasat döngüsündeki faaliyetler kararlaştırılır. İcra aşamasında yapılan işlerin ve iş performansının kontrolü yerine getirilir. Değerlendirme sürecinde ise önceden planlanan ve yerine getirilmiş olan görevler mukayese edilir [5,7].

Zirai makinelerin idaresi 5 temel yönetim görevi ile ifade edilebilir: Kapasite planlaması, görev zamanı planlaması, program oluşturma, güzergâh planlaması ve performans değerlendirme. Kapasite planlaması stratejik seviyeye, görev zamanı planlaması taktiksel seviyeye, program oluşturma işlevsel seviyeye, güzergah planlaması icra düzeyine ve performans değerlendirmesi de değerlendirme seviyesine karşılık gelir. Bu yönetim görevleri, ASABE Standartları (ASAE EP496.3, 2006) tarafından işaret edilen hususların çoğunu içermektedir. Bunlara traktör performansı, güç gereksinimleri, saha makine performansı, güvenilirlik, kullanım maliyeti ve saha makine kapasitesinin belirlenmesi dahildir [5].

Kapasite planlaması, makine ve destekleyici araçlar gibi üretimle ilgili bileşenlerin talebe göre belirlenerek kullanımının optimize edilmesini esas alır. Kapasite planlaması, icra edilecek işlere ilişkin mevcut iş gücü, zamana uygunluk ve çalışılabilirlik gibi işlevlerin yanı sıra talep, teçhizat yeterliliği, olası çalışma yöntemleri ile kapasite maliyetleri tarafından belirlenir [5].

Görev zamanı planlaması, yapılacak işlerin yerine getirilmesi için zaman dilimlerinin belirlenmesidir. Burada kastedilen işler hasat alma veya nakliye gibi tarımsal işlemleri ifade etmektedir [5].

Program oluşturma, üretim sürecindeki görevler gibi işler için makinelerin, iş gücü gibi kaynakların paylaşımını içerir. Burada amaç üretim süresi, toplam icra zamanı, azami gecikme gibi durumları optimize etmektir. ASABE Standartları (1974)'na göre program oluşturma, "Çeşitli işlemlerin icrası için zaman belirleme. Zaman elverişliliği, iş gücü ve makine desteği, iş öncelikleri ve ürün gereksinimleri bazı önemli faktörlerdir" şeklinde tanımlanır [5]. Van Elderen (1980)'e göre biyo üretim sistemleri alanında 2 genel tipte program oluşturma problemi yer almaktadır:

1) Saf program oluşturma problemleri: Saha işlemlerinin dönemsel olarak planlanması gibi her bir görev için başlangıç ve bitiş zamanı belirlenmelidir.

2) Sıralama problemleri: Büyük ölçekli hasatların planlanması gibi kaynakların paylaşımını gerektiren görevler için önceliklendirme yapılmalıdır.

Zirai araçlar için güzergah planlamasında, zirai araçlar asıl ve destek birimleri olarak sınıflandırılabilir. Buradaki asıl birimler ile ana işleri yürüten araçlar kastedilirken destek birimler olarak asıl birimleri destekleyen araçlar belirtilmektedir (bir hasat alma işleminde kullanılan tahıl arabası gibi) [5,11].

Asıl birimlerin kullanımındaki esas husus sahadaki her yeri kapsayacak şekilde maliyet, harcanan zaman ve aynı yerden tekrar geçme gibi faktörleri asgariye indirmektir. Tarımsal işlemlerde saha kapsamı için kısmen ya da bütün alanı dikkate alan yaklaşımlar geliştirilmiştir. Literatürde bu şekilde 3 tür yaklaşım bulunabilir [5].

Bu yaklaşımlardan ilki “konumsal durum planlaması” ile ilgilidir. Konumsal durum planlaması, güzergah planı ya da saha kaplama planı gibi ardı ardına gelen planlama işlemleri için işlerin yürütüldüğü ortamın kolaylıkla resmedilmesi maksadıyla bir sahanın geometrik gösteriminin meydana getirilmesi süreci olarak tanımlanabilir. Temel olarak konumsal durum planlaması 3 aşamayı içerir: tüm sahanın alt bölümlere ayrılması, alt sahaların her biri için sürüş yönüne karar verilmesi ve her bir alt sahanın tamamen kapsanabilmesi için kullanılacak araçların belirlenmesi[5].

İkinci yaklaşım güzergah düzenlemesini içerir. Güzergah düzenlemesinde konumsal durum planlamasının devamında araç ve/veya saha kullanım biçiminin optimize edilmesi dikkate alınır [5].

Diğer yaklaşımda tüm sahayı kapsayan devamlı bir yol oluşturulur ve konumsal planlama ile güzergâh planlamasında bir fark gözetilmez [5].

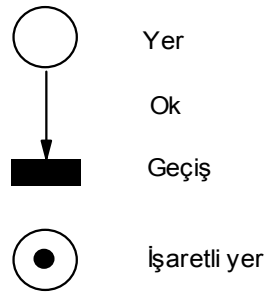
Destek birimleri için ise planlama işlemlerinde destek biriminin mevcut konumu ile hizmet vereceği zamandaki konumunun optimize edilmesi amaçlanır [5].

Makine performansı değerlendirmesi, bir saha işlemi için planlama ve kontrol döngüsünün son aşamasını oluşturur. Bu kısımdaki önemli nokta planlanan ve gerçekte icra edilen faaliyetlerin karşılaştırılmasıdır. Elde edilen sonuçlar, sürekli tekrarlanan planlama işlemlerinin yönetiminde kullanılarak işlerin planlanma sürecine dahil edilmelidir [5]. Saha işlemlerinin değerlendirme aşaması başlıca 4 ana karar sürecini içerir: belgeleme için veri işleme, standart kontrollerle uyum, işlem performansının özetlenmesi ve hedef ile kıyaslama [7].

2. PETRİ AĞLARI

Bir petri ağı, bir yönlendirilmiş grafiğin özel bir halidir. M_0 olarak gösterilen bir başlangıç işaretlemesi ile birlikte belirtilir[12]. Bir petri ağında iki farklı tipte düğüm noktası yer alır. Bunlardan biri olan yerler daire ile, geçişler ise çubuklarla gösterilir. Yerler ve geçişler birbirlerine oklar ile bağlanırlar. Oklar yönlendirilmiş olarak petri ağında yer alır. Bir okun yönü bir geçiştan bir yere ya da tam tersi olarak bir geçiştan bir yere doğrudur. Bir okun önünde ve sonunda mutlaka bir geçiş ve bir yer bulunmak zorundadır [12]. Oklar klasik petri ağlarında tam sayı değerleri ile ağırlıklandırılır. Ağırlık değeri ilgili okun üzerine yazılır. Eğer bir okun ağırlığı 1 ise yazılması gerekli değildir.

Petri ağındaki yerler koşulları, geçişler ise olayları temsil eder. Petri ağındaki işaretlemeler, yerlere jeton konulması ile gerçekleştirilir. Bir yerdeki jetonlar, siyah noktalarla ya da rakamla belirtilir. Jeton sayısı klasik petri ağlarında pozitif tam sayıdır[13]. Şekil 2.1'de petri ağı elemanları gösterilmiştir.



Şekil 2.1: Petri ağı elemanları.

Bir geçişe gelen okların çıktığı yerler o geçiş için çıkış yerleri, geçiştan çıkan okların bağlı olduğu yerler ise çıkış yerleri olarak adlandırılır. Aynı şekilde, bir yere gelen okların bağlantılı olduğu geçişler o yer için giriş geçişleri, yerden çıkan okların bağlantılı olduğu geçişler ise çıkış geçişleridir. Bir geçişin birden fazla giriş ve çıkış yeri bulunabileceği gibi bir yerin de birden fazla giriş ve çıkış geçişi bulunabilir.

Çizelge 2.1'de petri ağında kullanılan elemanlar ile temsil edilebilecek örnekler yer almaktadır.

Çizelge 2.1 :Geçiş ve yerler için kullanılabilecek bazı anlamlar [13].

Giriş Yeri	Geçiş	Çıkış Yeri
Önceki durum	Olay	Sonraki durum
Giriş verisi	Hesaplama adımı	Çıkış verisi
Giriş işareti	İşaret işleme	Çıkış işareti
Gereken kaynaklar	Görev veya iş	Serbest bırakılan kaynaklar
Koşullar	Mantıksal önerme	Sonuçlar
Buffer	İşlemci	Buffer

2.1 Petri Ağının Bileşenleri

Bir petri ağı $PA=(P,T,F,W,M_0)$ olmak üzere 5 bileşen ile tanımlanır [13]. Bunlar;

- $P=\{p_1,p_2,...,p_m\}$ sonlu sayıda yerlerin kümesi;
- $T=\{t_1,t_2,...,t_n\}$ sonlu sayıda geçişlerin kümesi,
- $F: (P \times T) \cup (T \times P)$ okların kümesi,
- $W: F \rightarrow \{1,2,3,...\}$ ağırlık fonksiyonu,
- $M_0: P \rightarrow \{0,1,2,3,...\}$ başlangıç işaretlemesidir.

Burada $P \cap T = \emptyset$ ve $P \cup T \neq \emptyset$ 'dir.

Herhangi bir başlangıç işaretlemesi bulunmayan petri ağı yapısı $N=(P,T,F,W)$ şeklinde gösterilir. Bir petri ağı $PA=(N,M_0)$ şeklinde de ifade edilebilir.

Bir p yerinden bir t geçişine giden okun ağırlığı $w(p,t)$ ile, t geçişinden p yerine giden okun ağırlığı ise $w(t,p)$ ile gösterilir. $M(p)$, p yerinin işaretini (jeton miktarını) belirtir. M bir vektör olmak üzere petri ağının işaretlemesi (her bir yerdeki jeton sayısı) bu vektör ile gösterilir.

Sistemlerin davranışları, sistemin durumunu ve meydana gelen değişiklikleri belirtecek şekilde tanımlanabilir. Bir sistemin dinamik davranışını sergilemek için, petri ağlarında aşağıdaki ateşleme kuralları geçerlidir [13]:

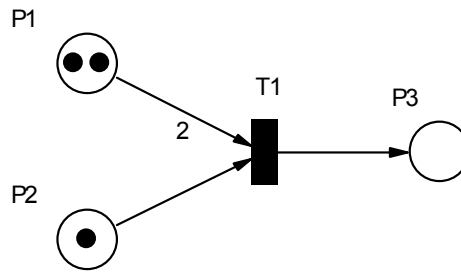
- Bir geçişin tetiklenebilmesi için bu geçişe ait tüm yerlerin jeton sayıları en az, yerleri geçişlere bağlayan okların ağırlıklarına eşit olmalıdır. ($M(p) \geq w(p,t)$)
- Tetiklenen bir geçiş temsil ettiği olayın gerçekleşme durumuna göre ateşlenebilir veya ateşlenmeyebilir.

- Tetiklenen bir geçişin ateşlenmesi ile t geçişine ait her bir giriş yerinden $w(p,t)$ adet jeton eksiltilir ve her bir çıkış yerine $w(t,p)$ adet jeton eklenir.

$t_j \in T$ $p_i \in P$, $M_0(p_i)$ p_i yerinin başlangıç işaretlemesi ve $M'(p_i)$ p_i yerinin t_j geçişinin ateşlenmesi ile değişen yeni işaretlemesi olmak üzere $M'(p_i)$ Denklem (2.1) ile bulunur.

$$M'(p_i) = M_0(p_i) + w(t_j, p_i) - w(p_i, t_j) \quad (2.1)$$

Şekil 2.2'de bir petri ağı örneği yer almaktadır.



Şekil 2.2 : Örnek petri ağı.

Bu petri ağı için Denklem (2.2)'de yer alan eşitlikler geçerli olacaktır.

$$P = \{P1, P2, P3\}$$

$$T = \{T1\}$$

$$F = \{(P1, T1), (P2, T1), (T1, P3)\}$$

$$w(P1, T1) = 2$$

$$w(P2, T1) = 1$$

$$w(T1, P3) = 1$$

(2.2)

$$M(P1) = w(P1, T1) = 2$$

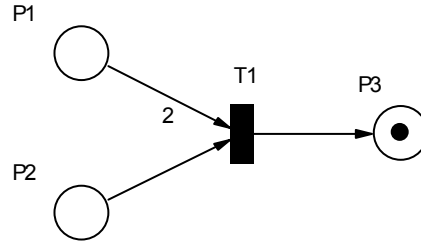
$$M(P2) = w(P2, T1) = 1$$

$$M_0 = \begin{bmatrix} 2 \\ 1 \\ 0 \end{bmatrix}$$

Başlangıçta T1 geçişi ateşleme için izinli durumdadır. Çünkü T1 geçişine gelen her bir yerdeki jeton sayısı, o yerleri geçişe bağlayan okların ağırlığına eşittir. Jeton sayısı daha fazla olduğu takdirde de geçiş yine izinli olacaktır.

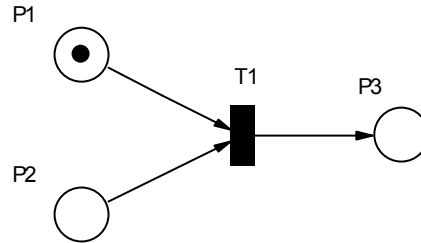
T1 geçişinin tetiklenmesi ile P1 ve P2 yerlerinden sırasıyla 2 ve 1 jeton alınır ve T1 geçişini P3 yerine bağlayan okun ağırlığı kadar ($w(T1,P3)=1$) jeton P3 yerine konulur. Denklem (2.1)'de ilgili değerler yerine koyulduğunda da aynı sonuca ulaşılmaktadır.

Şekil 2.3'te T1 geçişinin ateşlenmesi ile petri ağının güncellenen işaretli hali görülmektedir.



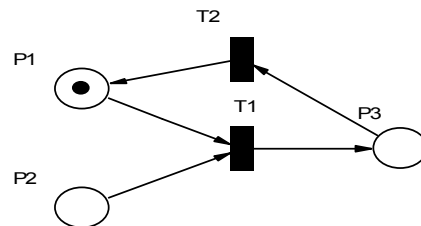
Şekil 2.3 : Ateşleme sonrası ağın işaretlemesi.

Tanım 2.1: $PA=(P,T,F,W,M_0)$ olmak üzere her $p_i \in P$ ve $t_j \in T$ için $w(t_j, p_i) = w(p_i, t_j) = 1$ ise bu petri ağına *sıradan (ordinary) petri ağı* denir. Şekil 2.4'te sıradan petri ağına örnek verilmiştir.



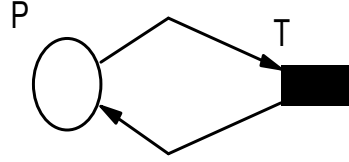
Şekil 2.4 : Sıradan petri ağı.

Tanım 2.2: $PA=(P,T,F,W,M_0)$ olmak üzere bu petri ağında her $t_j \in T$ için herhangi bir $p_i \in P$ yeri, t_j geçişinin hem giriş hem de çıkış yeri değilse bu ağa *temiz (pure) petri ağı* denir. Şekil 2.5'te yer alan ağ sıradan petri ağıdır.



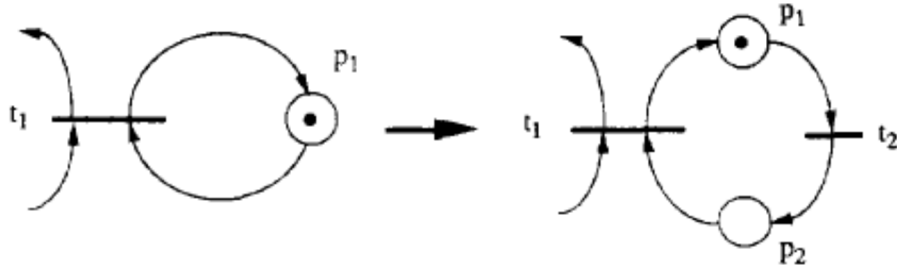
Şekil 2.5 : Temiz petri ağı.

Tanım 2.3: $PA=(P,T,F,W,M_0)$ olarak tanımlanan petri ağındaki bir $p_i \in P$ yeri, bir $t_j \in T$ yeri için hem giriş hem de çıkış yeri ise bu yer-geçiş çiftinden oluşan yapıya *öz çevrim* denir. Şekil 2.6'da öz çevrim yapısı görülmektedir.



Şekil 2.6 : Öz çevrim.

Öz çevrime sahip ağ yapısı, bu yapıya yeni bir yer-geçiş çifti atanmasıyla temiz hale getirilebilir. Şekil 2.7'de bir öz çevrimin temiz ağ haline getirilmesi gösterilmiştir.

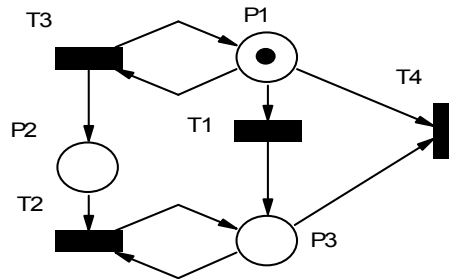


Şekil 2.7 : Öz çevrimin temiz ağa dönüştürülmesi [14].

2.2 Petri Ağlarının Davranışsal Özellikleri

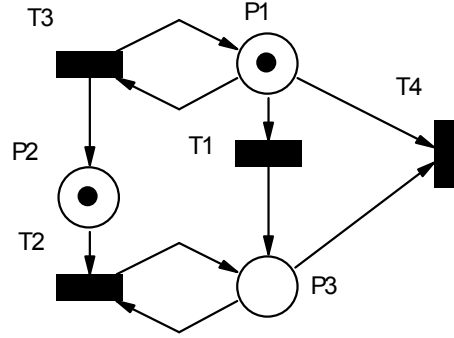
2.2.1 Erişilebilirlik

Bir petri ağındaki M_0 başlangıç işaretlemesinden bir M_i işaretlemesine ateşleme dizileri ile ulaşılabiliriyorsa M_i işaretlemesi M_0 'dan erişilebilir bir işaretlemedir. M_0 'dan ulaşılabilen işaretlemelerin kümesi $R(M_0)$ ile gösterilir. Şekil 2.8'deki petri ağı göz önüne alınsın.



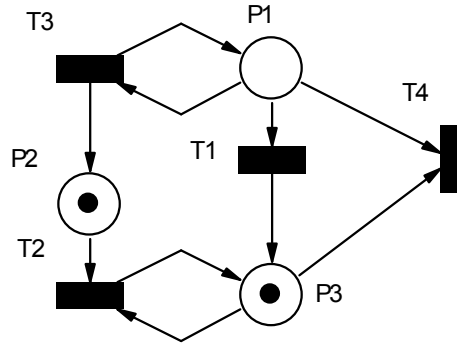
Şekil 2.8 : Örnek petri ağı.

Şekil 2.8'de verilen petri ağı için $M_0=[1\ 0\ 0]^T$ 'dir. $M=[0\ 1\ 1]^T$ işaretlemesinin M_0 'dan erişilebilir olup olmadığı incelenir. T3 geçişi tetiklenirse ağın işaretlemesi Şekil 2.9'daki gibi olacaktır.



Şekil 2.9 : T3 geçişinin tetiklenmesi ile oluşan durum.

Ardından T1 geçişi tetiklenirse oluşacak son durum Şekil 2.10'da verilmiştir.

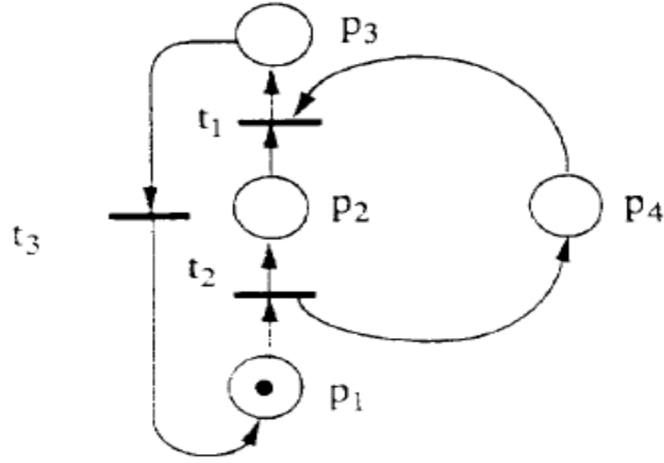


Şekil 2.10 : T1 geçişinin tetiklenmesi ile oluşan durum.

Şekil 2.10'daki modelin işaretlemesi $M=[0\ 1\ 1]^T$ işaretlemesi ile aynıdır. Sırasıyla T3 ve T1 geçişlerinin ateşlenmesi ile M_0 işaretlemesinden M işaretlemesine ulaşılmıştır. M işaretlemesi M_0 işaretlemesinden erişilebilirdir.

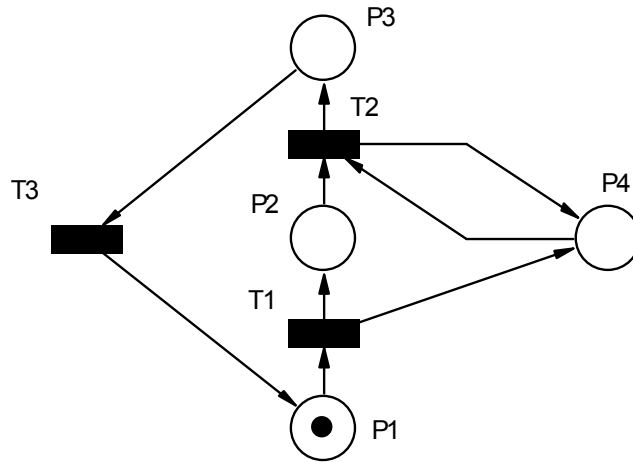
2.2.2 Sınırlılık

$p \in P$ ve k pozitif tam sayı olmak üzere bir petri ağına herhangi bir p yerindeki jeton sayısı, M_0 başlangıç işaretlemesinden erişilebilir bütün M işaretlemeleri için k 'ya eşit veya k 'dan küçükse, bu petri ağı *k sınırlıdır* denir. Bir petri ağı eğer 1 ile sınırlı ise bu ağ *güvenli ağdır*. Şekil 2.11'de yer alan ağ güvenli bir petri ağıdır.



Şekil 2.11 : Güvenli petri ağı [14].

Şekil 2.11'deki petri ağı için erişilebilir hiçbir işaretlemede herhangi bir yerdeki jeton sayısı 1'den fazla olmayacaktır. Bu nedenle 1 sınırlıdır ve güvenli bir ağıdır. Şekil 2.12'de yer alan petri ağı ise sınırsız bir ağıdır.



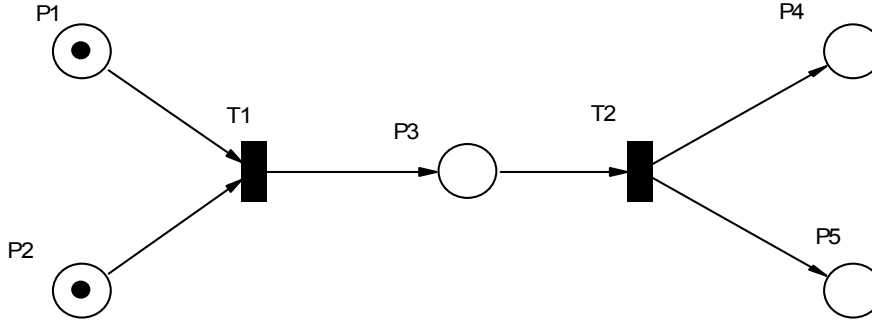
Şekil 2.12 : Sınırsız petri ağı.

Şekil 2.12'deki modelde P4 yerindeki jeton sayısında sürekli rastgele artış meydana gelecektir. Bu nedenle bu ağ sınırsızdır.

2.2.3 Tutarlılık

m bir petri ağındaki yerlerin sayısı, w ise her $p \in P$ için $w(p) > 0$ şartını sağlayan $w = [w_1, w_2, \dots, w_m]$ şeklinde, ağıdaki yerlerde bulunan jetonlar için bir ağırlık vektörü olsun. M_0 başlangıç işaretlemesi olmak üzere tüm erişilebilir $M \in R(M_0)$

işaretlemleri için ağırlıklandırılmış (ağırlık değerleri ile çarpılmış) ağdaki jeton sayısı toplamını eşit olarak veren bir w vektörü varsa bu petri ağı *tutarlıdır*. Şekil 2.13'te $w=[1,1,2,1,1]$ için tutarlı petri ağı örneği yer almaktadır [14].

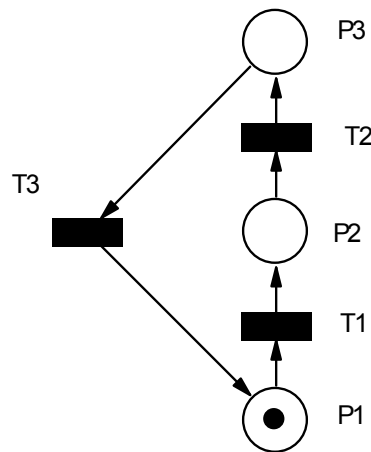


Şekil 2.13 : Tutarlı petri ağı.

Şekil 2.13'teki petri ağı analiz edildiğinde erişilebilen durumlar için w vektörü ile ağırlıklandırılmış jeton sayısı toplamının sabit kaldığı görülecektir.

2.2.4 Canlılık

Bir petri ağında M_0 başlangıç işaretlemesinden erişilebilen tüm M işaretlemleri için uygun ateşleme dizileri ile tüm geçişler ateşlenebiliyorsa bu petri ağı *canlıdır*. Şekil 2.14'teki petri ağı canlı bir petri ağıdır. Modelde herhangi bir kilitleme olmadan, sürekli olarak tüm geçişler ateşlenebilmektedir.



Şekil 2.14 : Canlı petri ağı.

Canlılık için çeşitli seviyeler tanımlanmıştır [14]. M_0 başlangıç işaretlemesi olmak üzere bir t geçişi için;

- **Seviye 0:** t geçişinin ateşlenebileceği hiçbir ateşleme dizisi bulunmuyorsa t geçişi 0. seviyede canlıdır.
- **Seviye 1:** t geçişi belli bir ateşleme dizisi altında en az bir kez ateşlenebiliyorsa 1. seviyede canlıdır.
- **Seviye 2:** k pozitif tamsayı olmak üzere t geçişi belli bir ateşleme dizisi altında en az k kez ateşlenebiliyorsa 2. seviyede canlıdır.
- **Seviye 3:** t geçişi belli bir ateşleme dizisi altında sonsuz kez ateşlenebiliyorsa 3. seviyede canlıdır.
- **Seviye 4:** t geçişi her $M \in R(M_0)$ için 1. seviyede canlıysa, 4. seviyede canlıdır (ya da canlıdır).

Genelleştirilecek olursa, bir petri ağındaki tüm geçişler canlıysa (4. seviyede canlıysa) o petri ağı canlıdır.

2.2.5 Tersinirlik

M_0 başlangıç işaretlemesi olmak üzere her $M \in R(M_0)$ için M_0 , M 'den erişilebilir ise bu petri ağı *tersinirdir*. Her $M \in R(M_0)$ için bir M_i işaretlemesi M 'den erişilebilir ise bu işaretlemeye *ev durumu* denir [14]. Şekil 2.11'deki petri ağı tersinirdir. Şekil 2.12'deki petri ağı ise tersinir değildir.

2.2.6 Kapsanabilirlik

Her $p \in P$ için M_0 'dan ulaşılan ve $M'(p) \geq M(p)$ koşulunu sağlayan bir M' işaretlemesi varsa M işaretlemesi *kapsanabilir*dir.

2.2.7 Devamlılık

Bir petri ağındaki izinli herhangi iki geçişten birinin ateşlenmesi diğerini etkilemiyorsa o petri ağı *devamlılık* özelliği gösterir.

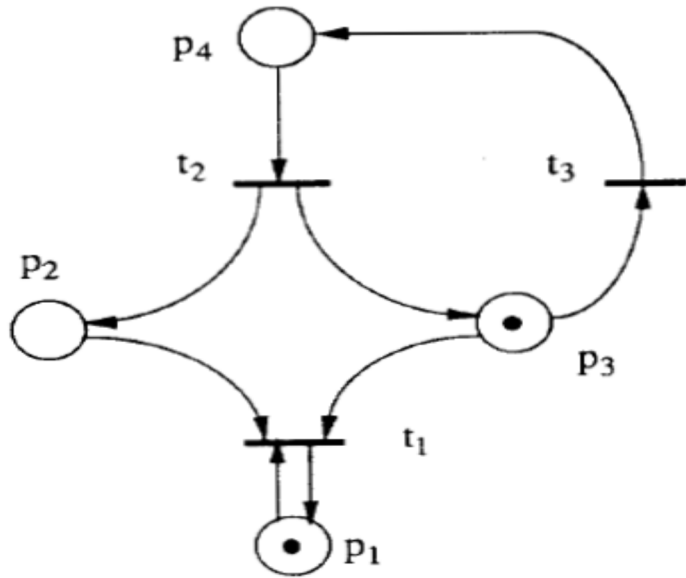
2.3 Analiz Yöntemleri

Petri ağı yapılarının analizinde temel olarak erişilebilirlik ağacı yöntemi ve değişim-olay matrisi yöntemi kullanılmaktadır. Ayrıca yerlerin ve geçişlerin azaltılmasına, buna karşın davranışsal birtakım özelliklerin muhafaza edilmesine, ağın alt yapılara bölünmesi gibi başka yöntemler de bulunmaktadır [14].

2.3.1 Erişilebilirlik ağacı

Erişilebilirlik ağacı yöntemi, başlangıç işaretlemesinden ulaşılabilecek tüm işaretlemelerin çıkarımı esasına dayanır. Başlangıç işaretlemesinden erişilebilecek tüm olası işaretlemeler için izinli tüm geçişlerin ateşlenmesi ile erişilebilirlik kümesi elde edilebilir. Erişilebilirlik ağacında her bir düğüm noktası bir işaretleme ile etiketlenir. Başlangıç düğüm noktası da M_0 başlangıç işaretlemesi ile belirtilir. Düğümler arasındaki oklar ise geçişleri temsil eder. Bir düğümden (işaretlemeden) diğerine oklar (geçişlerin tetiklenmesi) ile ulaşılır. Sınırsız ağlarda erişilebilirlik ağacı sonsuz boyuta ulaşabilir. Bu durumu önlemek için sürekli artan ve sonsuza doğru giden işaretlemeleri temsil etmek üzere ω sembolü kullanılır.

Erişilebilirlik ağacı yönteminin anlaşılması için şekil 2.15'teki model incelenir.



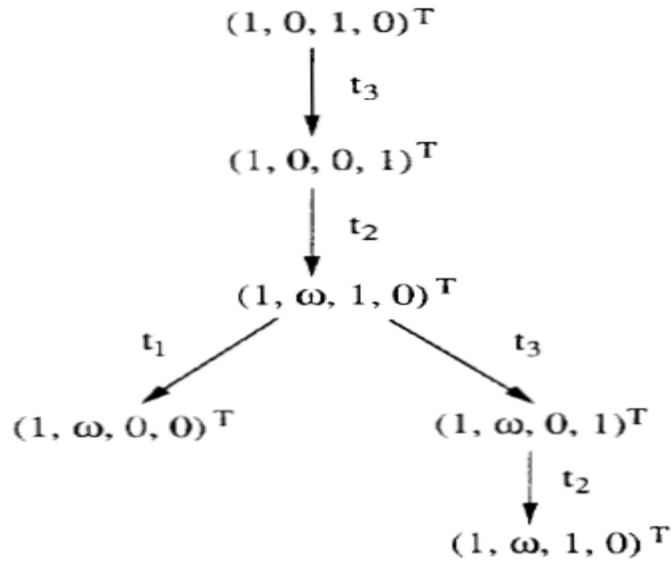
Şekil 2.15 : Örnek petri ağı [14].

Başlangıç işaretlemesi $M_0=(1,0,1,0)^T$ olarak verilmiştir. t_3 geçişinin tetiklenmesi ile $M_1=(1,0,0,1)^T$ işaretlemesine ulaşılabilecektir. Başlangıç durumunda başka bir geçiş tetiklenememektedir. M_1 işaretlemesinden, t_2 geçişinin tetiklenmesi ile $M_2=(1,1,1,0)^T$ işaretlemesine geçilir. Bu durumda ise 2 farklı durum söz konusu olacaktır.

t_3 geçişi tekrar tetiklenirse yeni işaretleme $M_3=(1,1,0,1)^T$ olur. Ardından t_2 geçişinin tetiklenmesi ile $M_4=(1,2,1,0)^T$ işaretlemesine ulaşılabilecektir. Sırasıyla t_3 ve t_2 geçişleri ardarda tetiklenmeye devam ettiği sürece işaretlemeler $M_6=(1,2,1,0)^T$, $M_8=(1,3,1,0)^T$, $M_{10}=(1,4,1,0)^T$ şeklinde, $M=(1,\omega,1,0)$ formatında değişecektir. t_1 geçişinin ise bir

kere tetiklenmesi durumunda petri ağının işaretlemesi $M=(1,\omega,0,0)$ şeklinde olacak ve bu halde iken başka bir geçiş tetiklenemeyeceğinden erişilebilir durumlar belirlenmiş olur.

Şekil 2.16'da şekil 2.15'teki petri ağı için elde edilen erişilebilirlik ağacı yer almaktadır.



Şekil 2.16 : Erişilebilirlik ağacı [14].

2.3.2 Değişim-olay matrisi

Petri ağlarının analiz edilmesinde kullanılan bir diğer yöntem de değişim-olay matrisi yöntemidir. Petri ağının dinamik davranışının matris denklemleri kullanılarak sergilenmesi amaçlanır[14].

Tanım 2.4 : $PA=(C,P,T,W,M_0)$ şeklinde bir petri ağı tanımlansın. Bu petri ağı n adet geçiş ve m adet yerden oluşsun. Değişim olay matrisi $A=[a_{ij}]$ formatında olmak üzere $n \times m$ boyutunda olacaktır. Burada a_{ij} ;

(2.3)

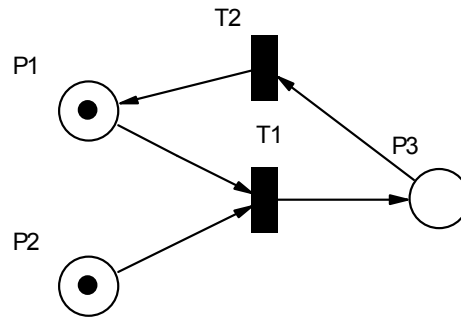
şeklinde tanımlıdır. i geçişleri, j ise yerleri temsil etmektedir. $a_{ij}^+ = w(i,j)$ olmak üzere i geçişinden j yerine olan okun ağırlığını, $a_{ij}^- = w(j,i)$ ise j geçişinden i yerine olan okun ağırlığını belirtmektedir. a_{ij} ifadesi, i geçişinin ateşlenmesi ile j yerinde değişen jeton sayısını ifade etmektedir. Değişim olay matrisinin elemanlarının, ok ağırlıkları ile ilişkili olduklarından, klasik petri ağlarında tamsayı olması gerekir.

Değişim-olay matrisi, petri ağındaki geçişlerin ateşlenmesi ile meydana gelen yeni işaretlemelerin belirlenmesini sağlar. Böylece erişilebilirlik ağacında olduğu gibi petri ağının olası işaretlemeleri bulunabilir. Bunun için Denklem (2.4)'deki eşitlikten faydalanılır.

$$M_k = M_{k-1} + A^T u_k \quad k \in \mathbb{Z}^+ \quad (2.4)$$

M_{k-1} bir önceki işaretlemeyi, M_k k. ateşlemeden sonra oluşan yeni işaretlemeyi, A değişim olay matrisini, u ise ateşleme dizisini gösterir. u , $n \times 1$ boyutundaki tetikleme vektörü olup ateşlenecek geçişleri belirtmektedir. u 'nun elemanları, ateşlenecek geçişler için 1 diğerleri için 0 olacak şekilde düzenlenir.

Şekil 2.17'deki örnek petri ağı modeli için değişim-olay matrisi yöntemi uygulansın.



Şekil 2.17 : Örnek petri ağı.

Bu petri ağı için başlangıç işaretlemesi: $M_0 = (1 \ 1 \ 0)^T$

Değişim-olay matrisi: $A = \begin{bmatrix} -1 & -1 & 1 \\ 1 & 0 & -1 \end{bmatrix}$

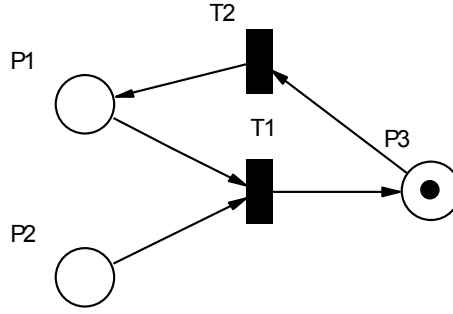
T1 geçişinin bir kez tetiklenmesi ile $M = (0 \ 0 \ 1)^T$ işaretlemesine erişilir. Bu durumda u vektörü $u = [1 \ 0]^T$ olacaktır.

Denklem (2.5) kullanılarak yeni işaretleme;

$$M = \begin{bmatrix} 1 \\ 1 \\ 0 \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} -1 & 1 \\ -1 & 0 \\ 1 & -1 \end{bmatrix} * \begin{bmatrix} 1 \\ 0 \end{bmatrix} = [0 \ 0 \ 1]^T \quad (2.5)$$

olarak bulunur.

Şekil 2.18'de T1 geçişinin tetiklenmesi ile erişilen yeni işaretleme görülmektedir.



Şekil 2.18 : Petri ağının yeni durumu.

Denklem (2.5)'te elde edilen işaretleme ile aynı sonuç elde edilir.

2.4 Zaman Etiketli Petri Ağları

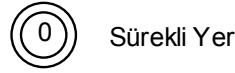
Zaman etiketli petri ağları $PA=(P,T,F,W,M_0, V)$ olmak üzere 6 bileşenle tanımlanır. Burada $V=\{v_j:t_j \in T\}$ zaman yapısını belirtir. v_j ifadesi ise j . geçişe atanan zaman etiketini belirtir[15].

Zaman etiketli petri ağlarının klasik petri ağlarından farkı, izinli bir geçişin ateşlenmesi için aktif hale gelmesinden sonra belli bir sürenin geçmesi gerekliliğidir. Belirlenen sürenin tamamlanmasından sonra ateşleme gerçekleşir ve jeton transferi yapılır.

3. SÜREKLİ PETRİ AĞLARI

Petri ağları ile çok değişken tipteki sistemler modellenabilir. Haberleşme sistemleri, trafik sistemleri, lojistik gibi alanlardaki sistemlerde çok büyük sayıda durumlar oluşabilir. Klasik petri ağları ile bu tür sistemlerin modellenmesi, erişilebilir durumlarda yüksek bir artışa neden olabilir ve analiz gerçekleştirilmesini zorlaştırabilir. Bu nedenle ayrık petri ağlarına iyi bir alternatif olarak sürekli yapılar önerilmiştir [12].

Sürekli petri ağlarında, klasik petri ağlarında kullanılan ayrık yer ve geçişler yerine sürekli yer-geçiş çiftleri kullanılmaktadır. Şekil 3.1'de sürekli yer ve geçiş sembolleri yer almaktadır.



Şekil 3.1 : Sürekli yer ve geçiş sembolleri.

Sürekli bir petri ağı $SPA=(P,T,Pre,Post,M_0)$ olmak üzere 5 bileşen ile tanımlanır [12]. Bu bileşenler;

- $P=\{p_1,p_2,\dots,p_m\}$ sonlu sayıda yerlerin kümesi;
- $T=\{t_1,t_2,\dots,t_n\}$ sonlu sayıda geçişlerin kümesi,
- Pre : p_i yerinden t_j geçişine giden okların ağırlıklarının $(w(p_i,t_j))$ yer aldığı matris
- $Post$: t_j geçişinden p_i yerine giden okların ağırlıklarının $(w(t_j,p_i))$ yer aldığı matris
- $M_0: P \rightarrow R^+ \cup \{0\}$ başlangıç işaretlemesidir.

Sürekli petri ağlarında okların ağırlıkları ve jeton sayıları ayrık petri ağlarından farklı olarak negatif olmayan reel sayılar olabilmektedir.

Tanım 3.1 : Bir sürekli petri ağında M işaretlemesi altında bir t_j geçişinin izinlilik derecesi, reel bir sayı olan q ile veya $q(t_j, M)$ ile gösterilir. $\bullet t_j$, t_j geçişinin giriş yerleri ($i: p_i \in \bullet t_j$) olmak üzere q değeri,

$$q = \min(M(p_i) / w(p_i, t_j)) \quad (3.1)$$

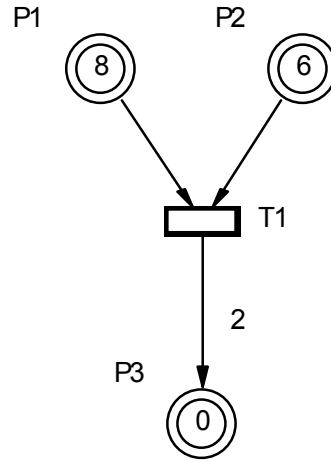
ifadesine eşittir[12].

Eğer petri ağı güvenli petri ağı ise bu durumda q ;

$$q = \min(M(p_i)) \quad (3.2)$$

olarak tanımlanabilir[12].

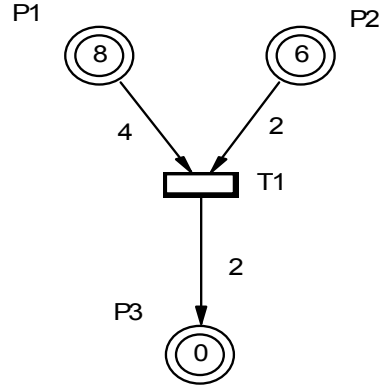
Şekil 3.2'deki sürekli petri ağı örneği ile geçişlerin izinliliği ve ateşleme ilişkisi anlatılacaktır.



Şekil 3.2 : Sürekli petri ağı.

Şekil 3.2'deki sürekli petri ağı için Denklem (2.4)'ten faydalanılarak $q=6$ olarak bulunur. Bu değer $T1$ geçişinin bir seferde en fazla $q=6$ kadar tetiklenebileceğini belirtir. Örneğin $T1$ geçişi 3 tetiklenirse (sürekli ağ olduğundan tam sayı olmak zorunda da değildir) $P1$ ve $P2$ yerlerinden 3 jeton eksilir ve $P3$ yerine $w(T1, P3)=2$ olduğundan $2 \times 3=6$ jeton transfer edilir. $T1$ geçişi bu şekilde $(0,6] \in \mathbb{R}^+$ aralığında tetiklenebilir. Ancak izinlilik derecesi olan 6'yı geçemez.

Şekil 3.3'te ise $P1$ ve $P2$ yerlerini $T1$ 'e bağlayan okların ağırlıkları değiştirilmiştir.

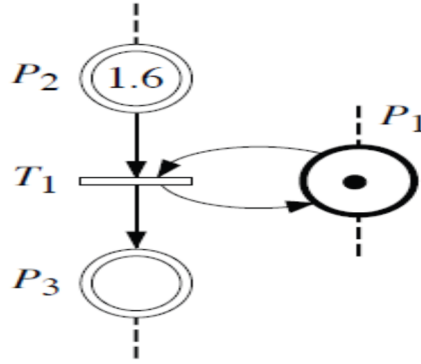


Şekil 3.3 : Sürekli petri ağı.

Şekil 3.3'teki ağ için q değeri $q=2$ olarak bulunur. Şekil 3.2'deki işleyiş burası için de geçerlidir. Ancak izinlilik derecesi 2 olduğundan ateşleme miktarı da en fazla 2 olabilecektir. Diğer taraftan $w(P1,T1)=4$ ve $w(P2,T2)=2$ olduğundan P1 ve P2 yerlerinden ateşleme ile eksilecek jetonlar bu ok ağırlıklarıyla çarpılacaktır. Örneğin T1 geçişi 1 değerinde tetiklenirse P1 yerinden $1 \times 4=4$, P2 yerinden $1 \times 2=2$ jeton eksiltilecektir. P3 yerine ise şekil 3.2'deki ağa benzer şekilde $1 \times 2=2$ jeton eklenecektir.

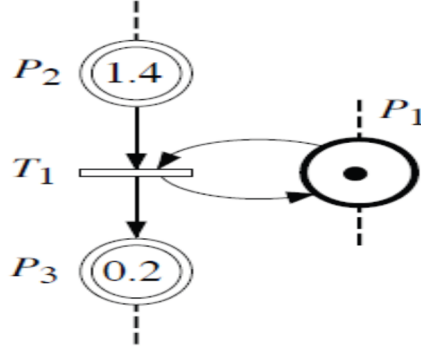
4. HİBRİT PETRİ AĞLARI

Sürekli petri ağları sıvı akışı veya bir makinenin süregelen üretim işlemi gibi olayları modellemek için kullanışlı olmakla birlikte makine arızası gibi işlemin kesilmesini gerektiren durumlarda hem ayrık hem de sürekli bileşenlere sahip hibrit petri ağı modellerine ihtiyaç duyulmaktadır[12]. Şekil 4.1'deki ağ yapısı ile hibrit petri ağlarına duyulan ihtiyaç anlaşılabilir.



Şekil 4.1 : Hibrit petri ağı yapısı [12].

Şekil 4.1'deki petri ağı, bir tarladaki sulama işleminin modellenmesi amacıyla kullanılabilir. P_2 sürekli yeri başlangıç durumunda sulama yapılacak alanın durumunu (1,6 hektar) belirtmektedir. T_1 sürekli geçişi sulama işleminin icra edilmesini, P_3 yeri ise sulama işleminin tamamlandığı, bir sonraki işlem için hazır olan alanın durumunu, P_1 ayrık yeri ise makinenin çalışmaya hazırlılık koşulunu temsil etmektedir. P_1 yerinde jeton olduğu sürece makinenin sağlam olduğu ve çalışabileceği varsayılmaktadır. T_1 geçişi örneğin makine ile 1 saatte sulanacak alan miktarı 0,2 hektar olan değer kadar ateşlenirse bir sonraki durum Şekil 4.2'deki gibi olacaktır.



Şekil 4.2 : Ateşlemeden sonra hibrit petri ağının durumu [12].

T_1 sürekli geçişi makinede herhangi bir arıza olmadığı sürece aktif halde kalmaya devam edecek, sulama işlemi tüm alan tamamlanıncaya ($M(P_2)=0$ oluncaya) kadar devam edecektir. Ancak makinede herhangi bir arıza meydana geldiğinde P_1 yerinde jeton bulunmayacak, bu durumda artık T_1 geçişi tetiklenemeyecektir. Böylece ayrık yapının da yer aldığı hibrit model ile sistemde meydana gelebilecek problemlerin etkileri de modele dahil edilebilecektir.

Tanım 4.1: Bir hibrit petri ağı $HPA = \{P, T, Pre, Post, M_0, h\}$ olmak üzere 6 bileşenden oluşur [12].

- $P = \{p_1, p_2, \dots, p_m\}$ boş olmayan sonlu sayıda yerlerin kümesi;
- $T = \{t_1, t_2, \dots, t_n\}$ boş olmayan sonlu sayıda geçişlerin kümesi, ($P \cap T = \emptyset$)
- Pre : p_i yerinden t_j geçişine giden okların ağırlıkları ($w(p_i, t_j)$),
- $Post$: t_j geçişinden p_i yerine giden okların ağırlıkları ($w(t_j, p_i)$),
- h : $P \cup T \rightarrow \{D, C\}$, her bir düğüm için ayrık yer veya geçiş (P^D ve T^D) ya da sürekli yer veya geçiş (P^C ve T^C) kümelerini belirten *hibrit fonksiyonu*,
- M_0 : $P \rightarrow R^+ \cup \{0\}$ başlangıç işaretlemesidir.

$P_i \in P^D$ ve $T_j \in T^C$ olmak üzere $w(p_i, t_j) = w(t_j, p_i)$ eşitliği sağlanmalıdır. Yani ayrık bir yerden sürekli bir geçişe giden okun ağırlığı o geçişten yere gelen okun ağırlığına eşit olmalı, bir başka deyişle ayrık bir yerden sürekli bir yere bir ok ile bağlantı varsa aynı ağırlıkta başka bir ok da o geçişten ayrık yere tanımlanmalıdır. Bunun nedeni ayrık yerin jeton sayısının değişmemesi, tam sayı olarak kalmasının sağlanmasıdır.

Tanım 4.2: Bir hibrit petri ağındaki ayrık bir geçiş eğer her $P_i \in P^D$ $T_j \in T^C$ için Denklem (4.1)'deki eşitsizliği sağlıyorsa izinlidir [12].

$$M(P_i) \geq w(P_i, T_j) \quad (4.1)$$

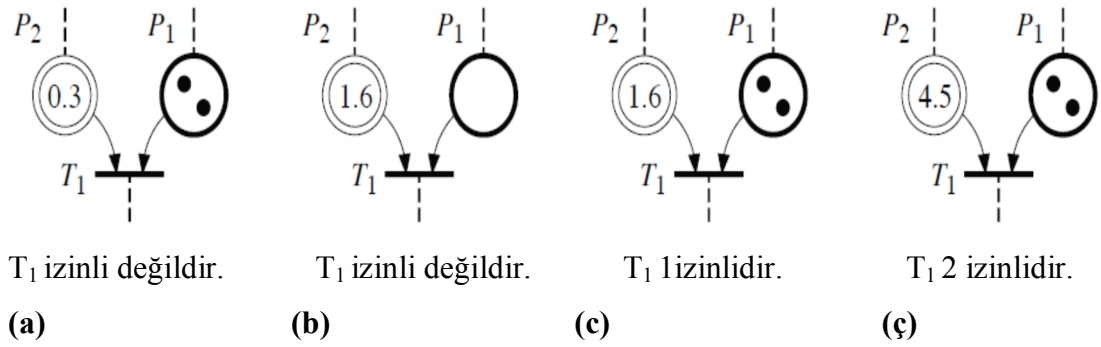
q bir tam sayı olmak üzere ayrık T_j geçişinin izinlilik derecesi $i: P_i \rightarrow T_j$ için,

$$q \leq \min(M(P_i)/w(P_i, T_j)) < q+1 \quad (4.2)$$

denklemleri ile belirlenebilir.

$q > 0$ ise T_j geçişi tetiklenebilir. İzinlilik derecesi q olacaktır.

Şekil 4.3'te ayrık ve sürekli yer çiftlerinin, ayrık geçişlerin izinlilik durumuna etkilerine ilişkin örnekler yer almaktadır.



Şekil 4.3 : Ayrık geçişler için izinlilik durumları [12].

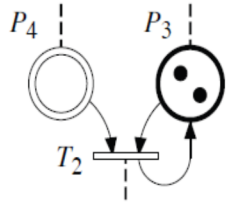
Tanım 4.3 : Bir hibrit petri ağındaki sürekli bir geçiş eğer her $P_i \rightarrow T_j$ için aşağıdaki koşulları sağlıyorsa izinlidir [12].

$$M(P_i) \geq w(P_i, T_j) \quad (P_i : \text{ayrık yer}) \quad (4.3)$$

$$M(P_i) \geq 0 \quad (P_i : \text{sürekli yer}) \quad (4.4)$$

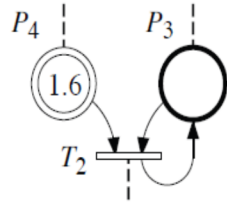
T_j geçişinin izinlilik derecesi Denklem (3.2) ile belirlenebilir. Sürekli geçişlerin izinlilik derecelerinin tespitinde ayrık yerlerin bir etkisi bulunmamaktadır.

Şekil 4.4'te ayrık ve sürekli yer çiftlerinin sürekli geçişlerin izinlilik durumuna etkileri görülebilmektedir.



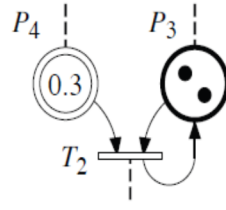
T_2 izinli değildir.

(a)



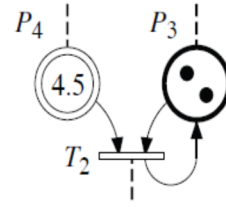
T_2 izinli değildir.

(b)



T_2 0,3 izinlidir.

(c)



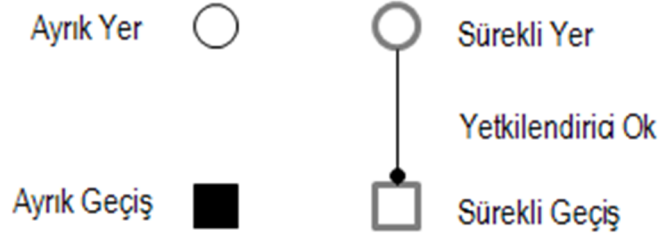
T_2 4,5 izinlidir.

(ç)

Şekil 4.4: Sürekli geçişler için izinlilik durumları[12].

5. OLUŞTURULAN MODELLER

Oluşturulan tüm modellerde kullanılan elemanlar Şekil 5.1'de verildiği gibidir.



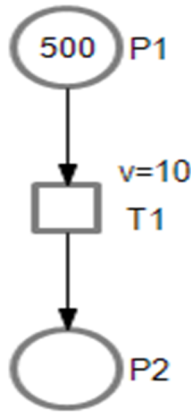
Şekil 5.1 : Petri ağı modellerinde kullanılacak elemanlar.

Şekil 5.1'de yer alan yetkilendirici okun karşılığı bir geçiş ile yer arasındaki çift yönlü oka tekabül eder. Şekil 5.2'de bir geçiş ile yer arasındaki yetkilendirici okun karşılığı verilmiştir.



Şekil 5.2 : Yetkilendirici okun karşılığı.

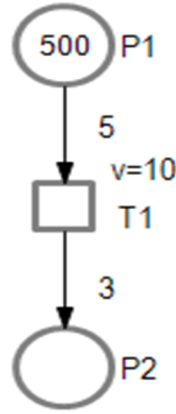
Tüm modellerde, sürekli geçişler için kullanılan "geçiş hızı" kavramı ile birim zamanda o geçişin "tetiklenme miktarı" kastedilecektir. Simülasyon "adımı" olarak belirtilen ifadeler ise "birim zamanı" belirtecektir. Bu husus Şekil 5.3'teki petri ağı örneği ile anlatılacaktır.



Şekil 5.3 : Örnek petri ağı.

Şekil 5.3'teki petri ağında T1 geçişinin tetiklenme miktarı (çalışma hızı) birim zamanda (adımda) $v=10$ olarak belirlenmiştir. Bu durumda T1 geçişi tetiklendiğinde bir adımda (birim zamanda) P1 yerinden 10 jeton P2 yerine transfer edilmiş olur. T1 geçişinin tetiklenmesi kesilmediği sürece her bir birim zamanda P1 yerinden P2 yerine jeton transfer edilmeye devam edecektir. Örneğin simülasyon zamanı (adım sayısı) 5'e ulaştığında P1 yerinden P2 yerine transfer edilen jeton sayısı $5 \times 10 = 50$ olacaktır. 5 birim zamanın sonunda P1 yerinde 50 jeton eksilerek 450 jeton kalmış, P2 yerine 50 jeton transfer edilmiş olur.

Şekil 5.4'teki örnekte ise farklı ok ağırlıklarına sahip sürekli bir petri ağı yapısı yer almaktadır.



Şekil 5.4 : Örnek petri ağı.

Ok ağırlığının etkisi nedeniyle P1 yerinden eksilen ve P2 yerine konulan jeton sayıları Şekil 5.3'teki petri ağından farklılık arz edecektir. Bu durumda birim zamanda (adımda) P1 yerinden eksilecek jeton sayısı ayrıca $w(P1,T1)=5$ ile çarpılacak ve P2 yerine eklenecek jeton miktarı da $w(T1,P2)=3$ katsayısı ile çarpılarak artacaktır. Örneğin 1 simülasyon adımı (birim zaman) sonunda $1 \times 5 \times 10 = 50$ jeton P1 yerinden eksilirken P2 yerine $1 \times 3 \times 10 = 30$ jeton eklenir. 5 birim zaman sonunda ise P1 yerindeki jeton sayısı $5 \times 5 \times 10 = 250$ miktarında azalacak ve $500 - 250 = 250$ jetona eşit olacak, P2 yerindeki jeton sayısı ise $5 \times 3 \times 10 = 150$ jeton olacaktır. Şekil 5.3'teki model için de aynı yöntem geçerli olmakla birlikte o modelde tüm ok ağırlıkları 1'e eşit olduğundan böyle bir farklılık görülmemektedir.

Modellere ilişkin yer/geçiş bilgilerinin yer aldığı çizelgelerde "bileşen türü" kısmında A harfi bulunan petri ağı elemanları ayrık bileşen, S harfi yer alanlar ise sürekli bileşen olarak kullanılmıştır. Ok ağırlıkları belirtilmeyen okların ağırlıkları 1'dir.

Kapasite planlaması, görev zamanı planlaması, program oluşturma ve güzergah planlaması yönetim görevleri için oluşturulan modeller hibrit petri ağları ile, performans değerlendirmesi için oluşturulan model ise ayrık petri ağı yapısı gerçekleşmiştir.

5.1 Kapasite Planlaması

Kapasite planlaması, ihtiyaca göre (makine, destekleyici teçhizatlar gibi) sistem bileşenlerinin belirlenmesi işlemidir. Kapasite planlamasında amaç, bu bileşenlerin kullanımının nasıl optimize edildiğidir. Bu nedenle, kapasite planlamasına ilişkin tarımsal yönetimdeki çalışmalar incelendiğinde, maliyet etkeninin azaltılmasına yönelik çeşitli önerilerin literatürde yer aldığı görülmektedir. Oluşturulacak olan petri ağı modelinde maliyeti oluşturan etkenlerin maliyete katkıları göz önüne alınacaktır.

Bu model, genel olarak bir tarla için yukarıda bahsedilen hususları yansıtacaktır. Bu maksatla toplam yüzölçümü $A \text{ m}^2$ olan bir tarla için kapasite planlaması kapsamında maliyet etkeni modelleneyecektir. Planlamayı teşkil eden ana maliyet çeşitleri aşağıda yer almaktadır [16]:

- 1) Araç masrafları
- 2) İşçi masrafları
- 3) Zamanlama (timeliness) masrafları
- 4) Kurutma masrafları.

Araç masrafları;

- 1) Amortisman giderleri ($a \text{ lira/m}^2$)
- 2) Tamir masrafları ($b \text{ lira/m}^2$)
- 3) Yakıt ücreti ($c \text{ lira/m}^2$) (1 m^2 'lik alanın işlemi için harcanan yakıtın maliyeti)

olarak belirlenmiştir. Makinenin yaşı ve yıllık kullanım durumunun tamir ve amortisman giderlerinin ikisini birden, yakıt fiyatlarındaki artışların ise yakıt ücretlerini artırıcı yönde etkileyeceği varsayılmaktadır.

İşçi masrafları da 1 m² 'lik alanın işlemi için ödenen miktar olarak dikkate alınmıştır (d lira/m²).

Zamanlama masrafları için ürünün olgunluk durumu belirleyici etken olacaktır. Ürün için uygun zamanın değerlendirilememesi sonucunda metrekare başına e kg (kg/m²) ürün kaybı meydana gelecektir. Hasat için uygun zamanın değerlendirilememesi nedeniyle kayıp hasattan dolayı oluşan zarar bütçeye ek maliyet olarak yansıyacak ve bu durum da modele eklenecek geçişle toplam maliyete eklenecektir.

Kurutma masrafları, istatistiksel verilerden yola çıkılarak öngörülen nemlenme miktarına göre belirlenecektir. Toplanan hasat % n'den daha fazla nemliyse, nemlilik oranına göre kurutma maliyeti artacaktır. Hava durumundaki değişiklikler bu maliyeti etkileyecektir. Örnek olarak, [16]'da yer alan arpa, yulaf ve buğday kurutma ücretlerine ilişkin tablo referans alınarak benzer yaklaşımla oluşturulan Çizelge 5.1 verilebilir.

Çizelge 5.1 : Nem oranındaki değişimin kurutma maliyetine etkisi.

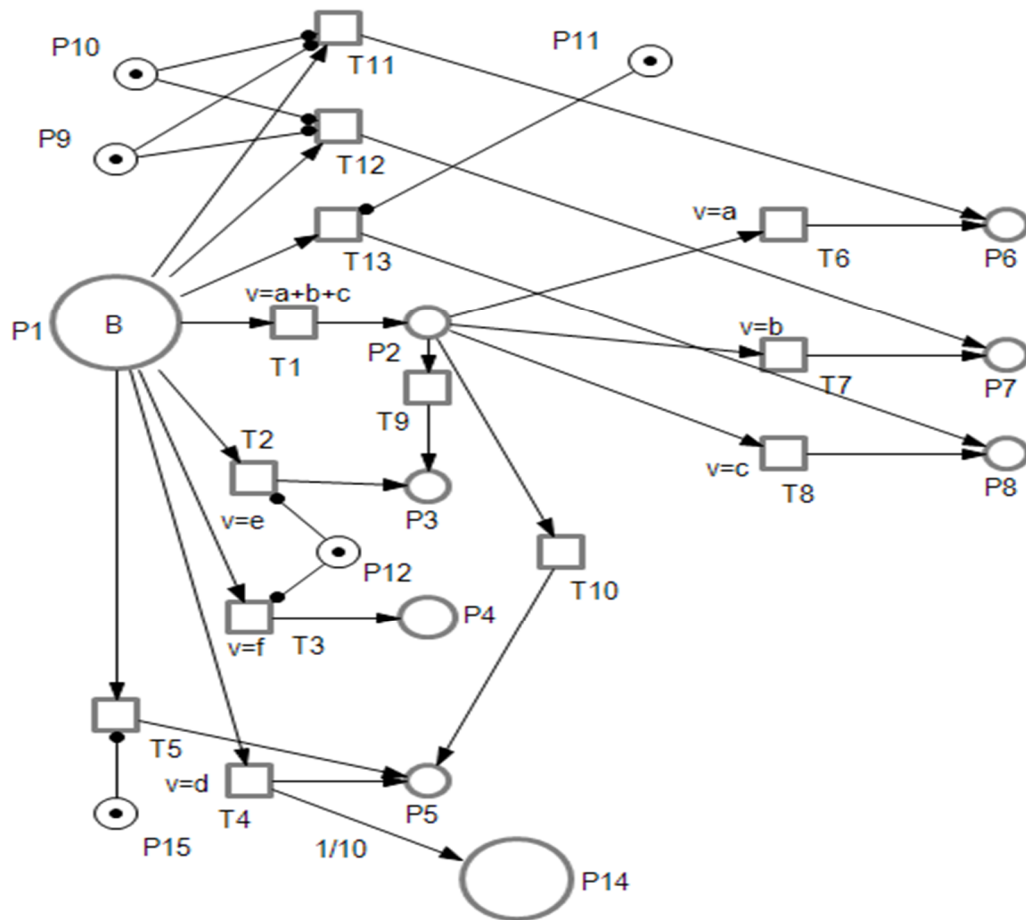
Nem oranı (%)	0-n	n+0,2	n+0,5	n+1	n+1,5	n+2	n+3	n+3'ten her büyük yüzde başına
Kurutma maliyeti (lira/m ²)	0	2	6	8	9	10	11	1

Kurutma masrafları modelde 1m²'lik alandan elde edilen hasat için harcanacak kurutma maliyeti olarak f lira/m² ile belirtilecektir.

Modelin işleyişi şu şekilde olacaktır: Başlangıç aşamasında tüm maliyetler için toplam B liradeğerinde ödenek planlanacaktır. Tüm masraflar için toplamda metrekare başına B/A lira kadar maliyet söz konusu olacaktır.

Başlangıç yerinde, ayrılan bütçeyi temsil eden B adet jeton bulunacaktır. Her bir maliyet değişkeni için jetonlar harcanmaya başlanacak, masraflarda oluşabilecek herhangi bir değişiklik durumunda, meydana gelen ek maliyet için eklenecek geçişlerle ayrıca jeton harcanacaktır.

Hibrit petri ağı olarak oluşturulan modelin genel yapısı Şekil 5.5'te olduğu gibidir.



Şekil 5.5 : Kapasite planlaması için petri ağı modeli.

Çizelge 5.2'de modelde bulunan yer ve geçişlere ilişkin açıklamalar yer almaktadır.

Çizelge 5.2 : Kapasite planlaması modelinde yer alan yer ve geçişler.

Yer/Geçiş	Açıklama	Bileşen Türü
P1	Kapasite planlaması için bütçenin hazır olduğu başlangıç durumu	S
P2	Bütçeden araçlardan kaynaklanan toplam masraflar için gerekli paranın ayrıldığı durum	S
P3	Bütçeden toplam zamanlama masrafı için gerekli paranın ayrıldığı durum	S
P4	Bütçeden kurutma işlemi maliyetleri için gereken toplam paranın ayrıldığı durum	S
P5	Bütçeden işçi maaşları için gerekli toplam paranın ayrıldığı durum	S
P6	Araç masrafları için bütçeden ayrılan paranın amortisman giderlerine tahsis edildiği durum	S
P7	Araç masrafları için bütçeden ayrılan paranın tamir giderlerine tahsis edildiği durum	S
P8	Araç masrafları için bütçeden ayrılan paranın yakıt masraflarına tahsis edildiği durum	S
P9	Araç yaşının ek amortisman ve tamir giderlerine etkisinin kontrol edildiği durum	A
P10	Aracın yıllık kullanım durumunun ek amortisman ve tamir giderlerine etkisinin kontrol edildiği durum	A
P11	Yakıt ücretlerinin ek yakıt masraflarına etkisinin kontrol edildiği durum	A
P12	Hava koşullarının (üründe neden olduğu nemlenmenin) zamanlama ve kurutma masraflarına etkisinin kontrol edildiği durum.	A
P14	Planlanan bütçe ile tamamlanabilen alanın durumu	S
P15	Ek işçi giderlerinin bütçeye etkisinin kontrol edildiği durum	A
T1	Araç masraflarından kaynaklanan tüm masraflar için bütçeden para ayrılması işlemi	S
T2	Zamanlama masrafları için bütçeden para ayrılması işlemi	S
T3	Kurutma masrafları için bütçeden para ayrılması işlemi	S
T4	İşçi giderleri için bütçeden para ayrılması işlemi	S
T5	Ek işçi giderleri için bütçeden para ayrılması işlemi	S
T6	Araç masrafları için bütçeden ayrılan paranın amortisman giderlerine tahsis edilmesi işlemi	S
T7	Araç masrafları için bütçeden ayrılan paranın tamir giderlerine tahsis edilmesi işlemi	S
T8	Araç masrafları için bütçeden ayrılan paranın yakıt giderlerine tahsis edilmesi işlemi	S
T9	Araçlara ilişkin değişen koşullar ve problemlerin zamanlama masraflarında meydana getirdiği ek giderlerin, zamanlama masraflarına dahil edilmesi işlemi	S
T10	Araçlara ilişkin değişen koşullar ve problemlerin işçi çalıştırma maliyetlerinde meydana getirdiği ek giderlerin, işçi masraflarına dahil edilmesi işlemi	S

Çizelge 5.2 (devam): Kapasite planlaması modelinde yer alan yer ve geçişler.

Yer/Geçiş	Açıklama	Bileşen Türü
T11	Ek amortisman giderleri için bütçeden para ayrılması işlemi	S
T12	Ek tamir giderleri için bütçeden para ayrılması işlemi	S
T13	Ek yakıt giderleri için bütçeden para ayrılması işlemi	S

Modelin çalışması: T1-T2-T3-T4 geçişleri sırasıyla $a+b+c$, e , f ve d değerleri hızında çalıştırılacaktır. Başlangıç durumunda bu dört geçiş de tetiklenir. Her bir adımda P14 yerindeki jeton sayısı T4 geçişinin tetiklenmesi ile 1 artırılır. P1 yerinde bütçeyi temsil eden B jeton sayısı sıfıra ulaştığında T4 geçişinin tetiklenmesi duracak, P14 yerinde o ana kadar birikmiş olan jeton miktarı maliyet planlaması tamamlanabilen alanın bilgisini verecektir. Bu değerin A yüzölçümü değerine ulaşması beklenir. Bu değere ulaşabiliyorsa yapılan planlamanın uygun olduğu ve tüm alan için yeterli kaynağın tahsis edildiği sonucuna ulaşılır.

Araç masrafları 3 kalemden oluştuğundan P2 yerine aktarılan jetonlar T6-T7-T8 geçişleri vasıtasıyla tahsis edildikleri giderleri temsil eden P6-P7-P8 yerlerine aktarılırlar. Aktarımın, ilgili olduğu yere doğru miktarda yapılabilmesi için T6-T7-T8 geçişlerinden jeton transferi sırasıyla a , b ve c hızlarında gerçekleştirilir.

Araç masraflarında artış meydana gelmesi durumunda, meydana gelenek gider kadarjeton P1'den T11-T12-T13 geçişleri vasıtasıyla araç masraflarının 3 bileşenini temsil eden P6-P7-P8 yerlerine aktarılır. Bu işlemin yapılması için, hangi araç gider bileşeni/bileşenlerinde artış meydana geldiyse ilgili geçişin tetiklenme hızı o gider için m^2 başına denk düşen ek gider miktarı olacak şekilde belirlenir. Eğer yakıt giderlerinde bir artış mevcutsa, P9-P10-P11 yer grubundan sadece P11 işaretli olacak ve T13 geçişi tetiklenecektir. Ancak makinenin yaşı ve/veya yıllık kullanım durumundan kaynaklı bir gider artışı söz konusuysa, başlangıç kısmında belirtildiği gibi bu etkenlerden sadece birindeki bir değişim dahi hem amortisman hem de tamir masraflarını etkileyeceğinden hem P9 hem de P10 yerleri T11 ve T12 geçişlerinin tetiklenebilmesi için işaretli olacaktır.

Zamanlama ve kurutma masrafları P12 yeri ile kontrol edilecektir. Hava (nem) durumuna göre her iki gider için T2 ve T3 yerleri tetiklenecek, herhangi olumsuz bir durum mevcut olmadığında P12 yerinde jeton bulunmayacaktır. Bununla birlikte, araç işletiminden kaynaklanan problemler, ürünler için en uygun zamanın

değerlendirilmesinde zaafiyete yol açabileceğinden, dolaylı olarak oluşan ek zamanlama masrafları için öncelikle P1 yerinden P2 yerine jeton transferi gerçekleştirilir. Daha sonra T9 geçişi tetiklenerek bu jetonlar P3 yerine transfer edilir. Böylece zamanlama ile ilgili araç işletiminden kaynaklanan ek giderler de zamanlama masraflarına dahil edilmiş olur.

İşçi giderleri için P1 yerinden T4 geçişi vasıtasıyla P5 yerine transfer gerçekleştirilir. Giderlerde bir artış meydana gelmesi halinde P15 yerinde jeton bulundurulur. T5 geçişi ile P1'den P5'e ek giderler için jeton transfer edilir. Herhangi bir artış mevcut değilse P15'te jeton yer almaz. Ayrıca yine araç işletiminde meydana gelecek aksaklıklar ek mesai veya işçi çalıştırmayı gerektirebileceğinden, burada da oluşabilecek ek masraflar için gereken jetonlar P1 yerinden P2 yerine, ardından T10 geçişi ile P2 yerinden P5 yerine aktarılır.

T4 geçişi ile her bir adımda P1'den P5 yerine m^2 başına işçi gideri (d lira/ m^2) kadar jeton eklenirken, P14 yerine de P5 yerine jeton eklenmesi adımlarının her birinde 1 jeton eklenir. Bunun sağlanması için, T4 geçişini P14 yerine bağlayan okun ağırlığı $w(T4,P14)= 1/d$ olarak belirlenmiştir. Her m^2 'de (birim zamanda) P5 yerine d jeton eklenirken P14 yerine de 1 jeton eklenerek maliyet için kaynak ayrılabilen alan tespit edilebilmektedir.

Örnek-1: Oluşturulan model bir portakal tarlası için kapasite planlaması kapsamında kullanılacaktır.

Çizelge 5.3'te dikkate alınacak nem oranı-kurutma maliyeti ilişkisi yer almaktadır.

Çizelge 5.3 :Nem oranının kurutma maliyetine etkisi.

Nem oranı (%)	0-14	14,2	14,5	15	15,5	16	17	17'den her büyük yüzde başına
Kurutma maliyeti (lira/ m^2)	0	2	6	8	9	10	11	1

Model için kullanılacak parametreler aşağıda verilmiştir(v: geçişin tetiklenme hızı) :

- Tarlanın alanı: $A=4000 m^2$
- Toplam bütçe: $B=150000 TL$

- Araç masrafları: $a+b+c= 20 \text{ lira/m}^2$ (T1 için $v=20$)
- Amortisman giderleri: $a=6 \text{ lira/m}^2$ (T6 için $v=6$)
- Tamir masrafları: $b=6 \text{ lira/m}^2$ (T7 için $v=6$)
- Yakıt ücretleri: $c=8 \text{ lira/m}^2$ (T8 için $v=8$)
- İşçi masrafları: $d=10 \text{ tl/m}^2$ (T4 için $v=10$)
- Zamanlama masrafları: $e'= 0,25 \text{ kg/m}^2$, 1 kg zayi olan portakalın zararı: 8 tl'dir. m^2 başına zarar: $8 \times 0,25 = 2 \Rightarrow e=2 \text{ tl/m}^2$ (T2 için $v=2$)
- Kurutma masrafları: Hasadın nem oranı: %15. Çizelge 5.3'ten kurutma maliyeti $f=8 \text{ lira/m}^2$ (T3 için $v=8$)

Bu bilgilere istinaden geçişlerin çalışma hızları Çizelge 5.4'teki gibi olacaktır.

Çizelge 5.4 : Geçiş çalışma hızları.

Geçiş	Çalışma Hızı	Geçiş	Çalışma Hızı
T1	20	T8	8
T2	2	T9	0
T3	8	T10	0
T4	10	T11	0
T5	0	T12	0
T6	6	T13	0
T7	6		

İlk örnekte araç ve işçi giderlerinde herhangi bir olumsuz durumun (ek maliyetin) olmadığı varsayılmıştır. Bu nedenle başlangıç durumunda P9-P10-P11-P15 yerlerinde jeton bulunmayacaktır. Yukarıdaki bilgiler referans alındığında bütçenin yeterli olması durumunda aşağıdaki sonuçların elde edilmesi beklenecektir.

- Amortisman giderleri: 24000 lira (P6)
- Tamir masrafları: 24000 lira (P7)
- Yakıt ücretleri: 32000 lira (P8)
- Zamanlama zararı: 8000 lira (P3)
- Kurutma masrafları: 32000 lira (P4)
- İşçi giderleri: 40000 lira (P5)

- Toplam gider: 160000 lira
- Mevcut bütçeyle tamamlanan alan: 4000 m² (P14)

Ancak;

1 m² için toplam maliyet : $a+b+c+d+e+f=6+6+8+10+12+8=40$ lira

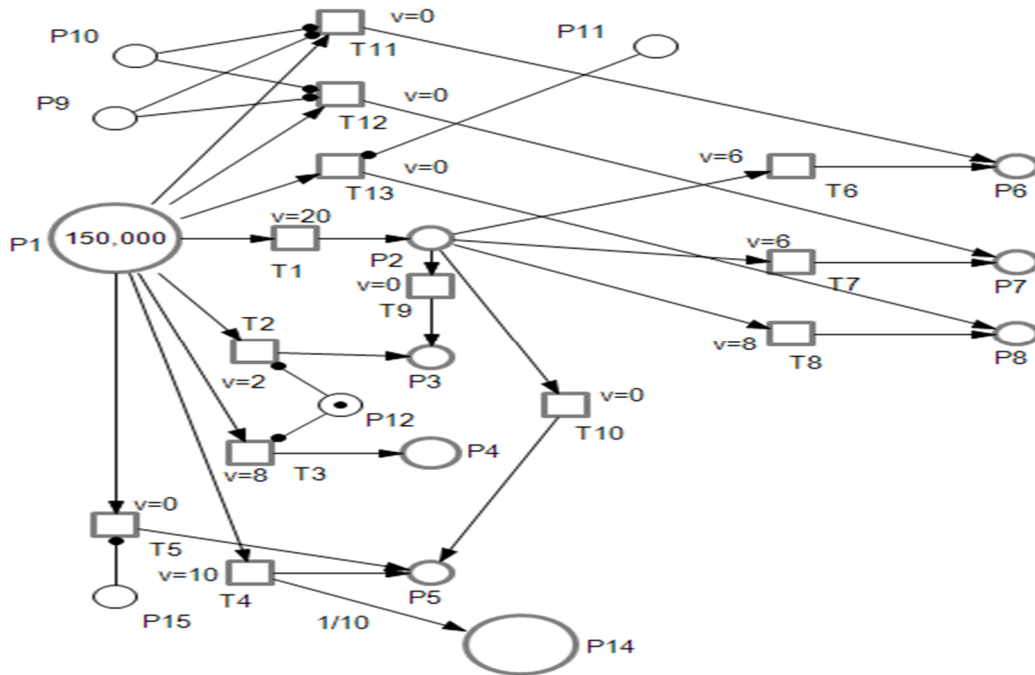
Mevcut bütçeyle tamamlanabilecek alan: $150000/40= 3750$ m² 'dir.

Bütçenin 4000 m² için yeterli olmaması nedeniyle yukarıdaki değerlere ulaşamayacak, 3750 m² için kaynak ayrıldığında planlama kesintiye uğrayacaktır.

Bu durumda aşağıdaki değerlere ulaşılması beklenir (3750 m² için maliyet değerleri):

- Amortisman giderleri: 22500 lira (P6)
- Tamir masrafları: 22500 lira (P7)
- Yakıt ücretleri: 30000 lira (P8)
- Zamanlama zararı: 7500 lira (P3)
- Kurutma masrafları: 30000 lira (P4)
- İşçi giderleri: 37500 lira (P5)
- Toplam gider: 150000 lira
- Mevcut bütçeyle tamamlanan alan: 3750 m² (P14)

Tanımlanan değerlere göre modelin başlangıç durumundaki görünümü Şekil 5.6'daki gibi olacaktır.



Şekil 5.6 : Kapasite planlaması için örnek petri ağı modeli.

Model çalıştırıldığında ilgili yerlerde biriken jetonların matematiksel yaklaşımla uyduğu görülmüştür.

Örnek-2: Bu örnekte ise araç ve işçi masraflarında artışın meydana geldiği durum değerlendirilecektir. Kullanılacak parametreler bir önceki örnekle aynıdır. Ek maliyetler için dikkate alınacak etkenler aşağıda olduğu şekilde belirlenmiştir.

İşçi maaşlarında %10'luk bir artış meydana gelmesi nedeniyle bu artışın işçi giderlerine dahil edilmesi için T5 geçişine $v=1$ (1 lira/m²) çalışma hızı değeri atanır. P15 yerine 1 jeton konulur.

Amortisman giderlerinde %16,66 oranında bir artış meydana gelmesi nedeniyle bu artışın amortisman giderlerine dahil edilmesi için T11 geçişine $v=1$ (1 lira/m²) çalışma hızı değeri atanır. P9-P10 yerlerine birer jeton konulur.

Tamir giderlerinde %16,66 oranında bir artış meydana gelmesi nedeniyle bu artışın tamir giderlerine dahil edilmesi için T12 geçişine $v=1$ (1 lira/m²) çalışma hızı değeri atanır. P9-P10 yerlerine daha önce jeton konulmuş olduğundan tekrar konulmasına gerek yoktur.

Yakıt fiyatlarında %12,5 oranında bir artış meydana gelmesi nedeniyle bu artışın yakıt giderlerine dahil edilmesi için T13 geçişine $v=1$ (1 lira/m²) çalışma hızı değeri atanır. P11 yerine 1 jeton konulur.

Araç masraflarında meydana gelen artışlar nedeniyle ek giderlerin karşılanmasından kaynaklanan ödeme gecikmelerinden dolayı araçların hazır olması/kullanımında karşılaşılan problemler nedeniyle hasat için uygun zamanın değerlendirilememesi, zamanlama masraflarında ek maliyete neden olmuştur. 0,125 kg/m² oranında ürün zayi olmuştur. Bu sebeple $8 \times 0,125 = 1 \text{ t/m}^2$ miktarında bir ek zarar söz konusudur. Zamanlama masraflarına bu ek giderin dahil edilmesi için T1 geçiş hızı $v=20+1=21$ olarak güncellenecek, T9 geçiş süratine de $v=1$ değeri atanarak bu ek maliyet zamanlama masraflarına (P3 yerine) eklenecektir.

Benzer şekilde araçlardan kaynaklanan aksaklıklar işçilerin %10 ekstra mesai yapmalarını gerektirecek ve bu durumda işçi giderlerinde (zamlı değer) $11 \text{ lira/m}^2 \times \%10 = 1,1 \text{ lira/m}^2$ seviyesinde ek bir gider oluşacaktır. Bu ek giderin işçi giderlerine dahil edilmesi için T1 geçiş hızı $v=21+1,1=22,1$ olarak güncellenecek, T10 geçişinin çalışma hızına da $v=1,1$ değeri atanarak bu ek maliyet işçi giderlerine (P5 yerine) eklenecektir.

Bu bilgilere istinaden geçişlerin çalışma hızları izelge 5.5'daki gibi olacaktır.

Çizelge 5.5 :Geçiş alışma hızları.

Geçiş	alışma Hızı	Geçiş	alışma Hızı
T1	22,1	T8	8
T2	2	T9	1
T3	8	T10	1,1
T4	10	T11	1
T5	1	T12	1
T6	6	T13	1
T7	6		

Ek maliyet bilgileri doğrultusunda matematiksel olarak güncel maliyetlerin aşağıdaki gibi olması beklenir.

- Araç masrafları: 23 tl/m²
- Amortisman giderleri: 7 tl/m²
- Tamir masrafları: 7 tl/m²
- Yakıt cretleri: 9 tl/m²
- İşçi masrafları: 12,1 tl/m²
- Zamanlama masrafları: 3tl/m²
- Kurutma masrafları: 8 tl/m²

Yukarıdaki bilgiler referans alındığında bütçenin yeterli olması durumunda aşağıdaki sonuçların elde edilmesi beklenecektir.

- Amortisman giderleri: 28000 lira (P6)
- Tamir masrafları: 28000 lira (P7)
- Yakıt cretleri: 36000 lira (P8)
- Zamanlama zararı: 12000 lira (P3)
- Kurutma masrafları: 32000 lira (P4)
- İşçi giderleri: 48400 lira (P5)
- Toplam gider: 184400 lira

- Mevcut bütçeyle tamamlanan alan: 4000 m² (P14)

Ancak;

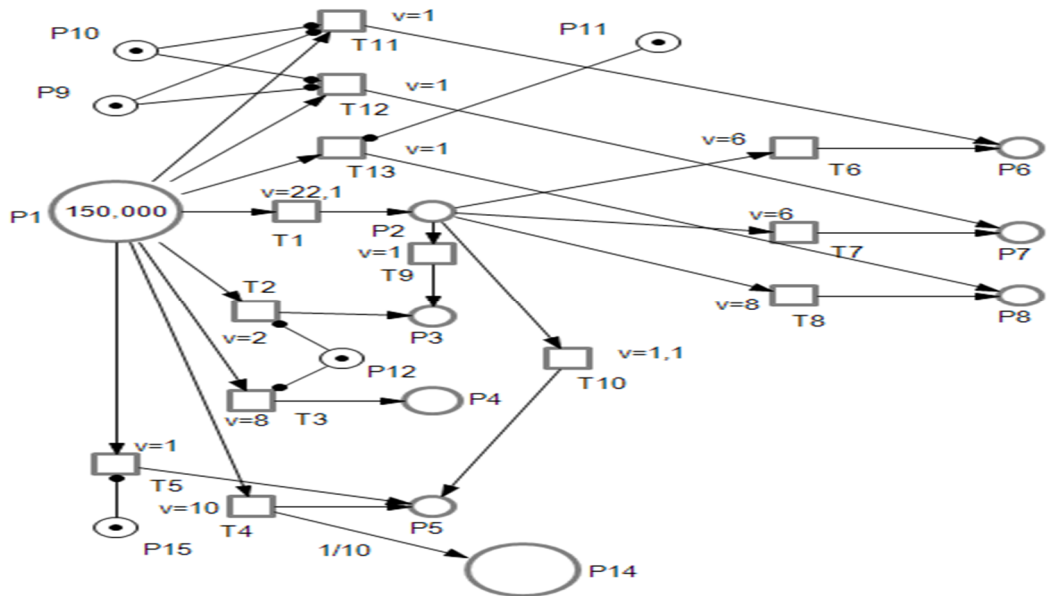
1 m² için toplam maliyet : 23+12,1+3+8= 46,1 lira/m²

Mevcut bütçeyle tamamlanabilecek alan: 150000/46,1 3253 m²'dir.

Bütçenin 4000m² için yeterli olmaması nedeniyle yukarıdaki değerlere ulaşamayacak, 3253 m² için kaynak ayrıldığında planlama kesintiye uğrayacaktır. Bu durumda aşağıdaki değerlere ulaşılması beklenir (3253 m² için maliyet değerleri):

- Amortisman giderleri: 22771 lira (P6)
- Tamir masrafları: 22771 lira (P7)
- Yakıt ücretleri: 29277 lira (P8)
- Zamanlama zararı: 9759 lira (P3)
- Kurutma masrafları: 26024 lira (P4)
- İşçi giderleri: 39361 lira (P5)
- Toplam gider: 150000 lira
- Mevcut bütçeyle tamamlanan alan: 3253 m² (P14)

Tanımlanan değerlere göre modelin başlangıç durumundaki görünümü Şekil 5.7'deki gibi olacaktır.



Şekil 5.7 : Kapasite planlaması örneği için petri ağı modeli.

Model çalıştırıldığında ilgili yerlerde biriken jetonların matematiksel yaklaşımla uyuştuğu görülmüştür.

5.2 Görev Zamanı Planlaması

Yürütülecek işlemler için kaynakların paylaşımının yapılması maksadıyla, belirlenen zaman periyotlarında "program oluşturma" görevinin planlanabilmesi için öncelikle bu zaman aralıklarının belirlenmesi gerekmektedir. Bu yüzden görev zamanı planlaması, program oluşturma aşaması için öncelikli olarak ele alınmalıdır. Buckmaster ve Hilton (2005) tarafından dinamik işletim sistemlerindeki donanım ve görev zamanlarının etkileşimlerinin analizi için bilgisayarlı bir sistem geliştirilmiştir. Bu yöntemle sistem kapasitesi, atıl kalan araç zamanı ve verimlilik ölçümleri elde edilmiştir. Sorensen ve diğ. (2014) farklı toprak işleme sistemlerinin enerji ihtiyaçları ve sera gazı salınımlarının tahmini maksadıyla temel olarak işgücü ve makine gereksinimi için belirli görev modelleri kullanmışlardır. Literatürde işgücü ve kapasite performansının işlevsel özellik olarak yer aldığı başka yaklaşımlar da bulunmaktadır [5].

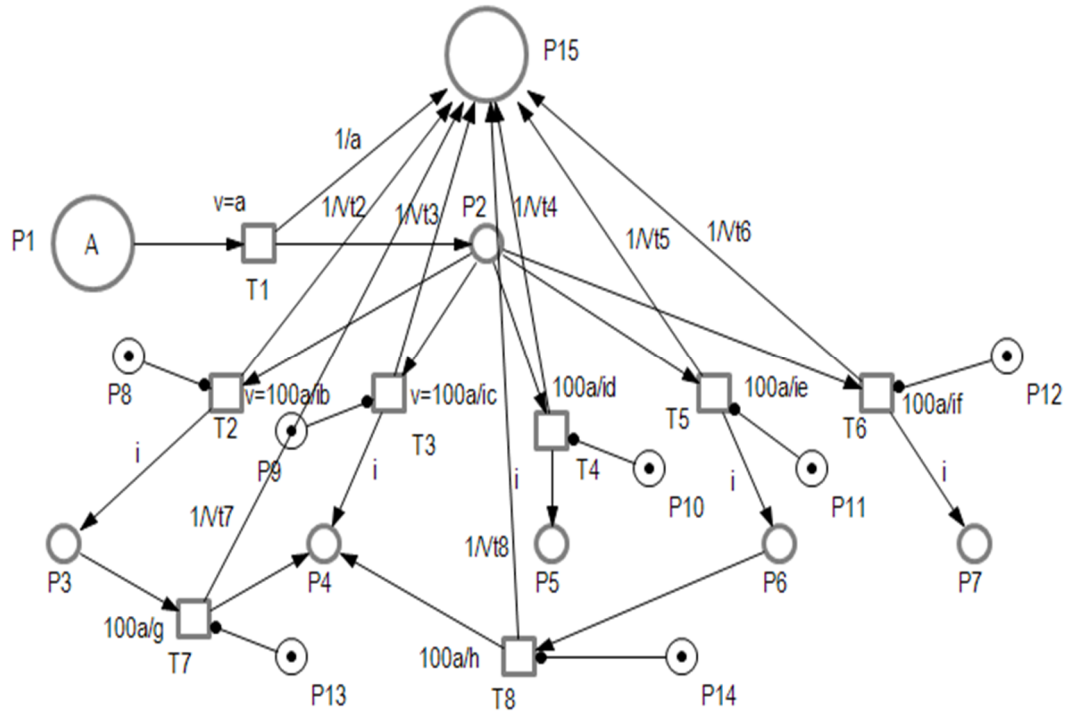
Bu çalışmada ise söz konusu zaman aralıklarının belirlenmesi için aşağıda yer alan parametreler dikkate alınacaktır.

Toplam yüzölçümü A olan bir tarla için görev zamanı planlaması kapsamında tarım işlemleri için gereken sürenin planlaması yapılacaktır. Genel olarak 8 adet etken dikkate alınmıştır.

- 1) Toprak türü
- 2) Hava/iklim şartları
- 3) Toprak durumu
- 4) Topoğrafik yapı
- 5) İş gücü gereksinimi
- 6) Makine kapasitesi
- 7) rn tipi
- 8) İşlem türü

Tarım işlemleri için ihtiyaç duyulan zamanın planlanmasında tarlanın yüzölçümü referans alınmıştır. Mevcut makine kapasitesi ile her bir işlem için (toprağın hazırlanması, ekim yapılması, aşılama/gübreleme, sulama, hasat alma) m^2 /saat cinsinden çalışma hızı ile, işlemler için gereken zaman bulunabilir. Bu bilgi, günlük çalışma saati göz önüne alınarak her bir işlem için kaç günlük bir program yapılması gerektiği bilgisini verecektir. Ancak, yukarıdaki diğer etkenler bu belirlenecek programa etki edebilecek ve daha uzun bir dönemin planlamaya alınmasını gerektirebilecektir. Örneğin toprağın hazırlanması için 80 saatlik bir çalışma gerekiyorsa ve günlük 8 saatlik bir çalışma periyodu öngörülüyorsa, toplamda 10 güne ihtiyaç duyulacaktır. Ancak toprak durumunun uygun olmamasının bulunulan dönem içerisinde toplamda örneğin 20 günlük bir gecikme yaratması nedeniyle planlama 30 güne yayılabilecektir. Diğer taraftan, herhangi bir etkendeki değişim, diğer etkenleri de belli oranlarda etkileyebilir. Dolayısıyla bir etkenden kaynaklanan gecikme, başka bir etkende belki daha fazla gecikmeye, dolayısıyla planlamada ayrıca ekstra bir süreye ihtiyaç duyulmasına neden olabilir. Örneğin iklim şartları toprağın veya ürünün verimini bozabilir ve yapılmakta olan işlemin süratini etkileyebilir.

Görev zamanı planlaması için kullanılacak hibrit petri ağı modeli Şekil 5.8'de verilmiştir.



Şekil 5.8 : Görev zamanı planlaması için petri ağı modeli.

Çizelge 5.6'da modelde yer alan yer ve geçişlere ilişkin açıklamalar yer almaktadır.

Çizelge 5.6 : Yer ve geçişlerin açıklamaları.

Yer/Geçiş	Açıklama	Bileşen Türü
P1	Planlama yapılacak tarlanın yüzölçümünün başlangıç durumu	S
P2	Planlaması tamamlanan alanın durumu	S
P3	Toprak türünden kaynaklanan gecikmenin belirlendiği alanın durumu	S
P4	Toprak durumundan kaynaklanan gecikmenin belirlendiği alanın durumu	S
P5	Topoğrafik yapıdan kaynaklanan gecikmenin belirlendiği alanın durumu	S
P6	Hava şartlarından kaynaklanan gecikmenin belirlendiği alanın durumu	S
P7	İşgücü gereksiniminden kaynaklanan gecikmenin belirlendiği alanın durumu	S
P8	Toprak türünden kaynaklanan gecikmenin kontrol edildiği durum	A
P9	Toprak durumundan kaynaklanan gecikmenin kontrol edildiği durum	A
P10	Topoğrafik yapıdan kaynaklanan gecikmenin kontrol edildiği durum	A
P11	Hava şartlarından kaynaklanan gecikmenin kontrol edildiği durum	A
P12	İşgücü gereksiniminden kaynaklanan gecikmenin kontrol edildiği durum	A
P13	Toprak türünün toprak durumunda neden olduğu ek gecikmenin kontrol edildiği durum	A
P14	Toprak şartlarının toprak durumunda neden olduğu ek gecikmenin kontrol edildiği durum	A
P15	İhtiyaç duyulan toplam zaman	S
T1	Uygun şartlarda işlemin tamamlanması için gerekli zamanın belirlenmesi işlemi	S
T2	Toprak türünden kaynaklanan gecikmenin belirlenmesi işlemi	S
T3	Toprak durumundan kaynaklanan gecikmenin belirlenmesi işlemi	S
T4	Topoğrafik yapıdan kaynaklanan gecikmenin belirlenmesi işlemi	S
T5	Hava şartlarından kaynaklanan gecikmenin belirlenmesi işlemi	S
T6	İşgücü gereksiniminden kaynaklanan gecikmenin belirlenmesi işlemi	S
T7	Toprak türünün toprak durumunda neden olduğu ek gecikmenin belirlenmesi işlemi	S
T8	Toprak şartlarının toprak durumunda neden olduğu ek gecikmenin belirlenmesi işlemi	S

Şekil 5.8'deki model, her bir işlem için ayrı ayrı kullanılabilir. Her bir tarımsal işlem farklı özellikler arz ettiğinden (örneğin kullanılacak makinelerin türü) yukarıdaki etkenlerin modeldeki etkisi her işlemde farklı olacaktır. Aynı şekilde farklı ürün türleri işlemlerin farklı şekillerde yürütmesini gerektirir (örneğin bir karpuz tarlası ile portakal bahçesi aynı durumda olmayacaktır). Bu nedenlerden dolayı her bir işlem ve farklı türdeki ürünler için model parametrelerinin ayrı ayrı tanımlanması gereklidir. Bu örnekte genel olarak ele alınacak herhangi bir işlem için modelin nasıl çalışacağı anlatılacaktır.

Mevcut makine kapasitesine bağlı olarak çalışma hızı: $a \text{ m}^2/\text{saat}$ olsun. Başlangıç durumunda tüm koşulların uygun olduğu, etkenlerden kaynaklanan herhangi bir gecikmenin mevcut olmadığı ve bu nedenle de ayrık yerlerde jeton bulunmadığı, dolayısıyla da T1 geçişi dışında başka hiçbir geçişin tetiklenmeyeceği varsayılmaktadır. T1 geçişine a değerinin atanması ve geçişin tetiklenmesi ile P1 yerindeki jetonlar (planlama yapılacak alan) P2 yerine aktarılacaktır (planlaması tamamlanan alan). $w(T1,P15)=1/a$ olduğundan P1-P2 jeton transferi tamamlandığında, P15 yerindeki jeton sayısı işlemin tamamlanması için saat cinsinden gereken zamanı verecektir. Elde edilen değer, günlük çalışma saati ve işlemin tamamlanması için ön görülen tarih aralığı dikkate alınarak belirlenen, B saat değerinden büyük değilse yapılacak planlamanın yeterli olabileceği sonucuna ulaşılabilecektir. Aksi durumda mevcut planlamayla işlem tamamlanamayacaktır.

Verilen 8 etkenden ilk beşinde meydana gelebilecek değişiklikler ihtiyaç duyulan zamanın artmasına neden olabilecektir. T2-T3-T4-T5-T6 geçişleri ile (T2,P1), (T3,P15), (T4,P15), (T5,P15), (T6,P15) oklarına, işlemin normal tamamlanma süresinin belirlenmesi ile aynı yaklaşımla değerler atanarak toplam gecikme süresi, bu süreleri temsil eden jetonların transferi ile P15 yerinde ihtiyaç duyulan zamanın hesaplanmasına dahil edilecektir.

Aşağıda bu etkenlerin mevcut makine kapasitesi ile verilen çalışma hızını etkileme oranı % cinsinden verilmiştir.

- Toprak türü : % b
- Toprak durumu: % c
- Topoğrafik yapı: % d

- Hava şartları: %e
- İşgücü gereksinimi: % f
- Toprak türünün toprak durumunda neden olduğu ek gecikme: % g
- Hava şartlarının toprak durumunda neden olduğu ek gecikme: % h
- Ele alınan durum için gecikmeye neden olan etken sayısı: i

Geçişlere atanacak değerler Çizelge 5.7'de verilmiştir.

Çizelge 5.7 :Geçiş çalışma hızları.

Geçiş	Çalışma Hızı
T1	a
T2	100a/ib
T3	100a/ic
T4	100a/id
T5	100a/ie
T6	100a/if
T7	100a/g
T8	100a/h

Modelin çalışması:Tüm koşulların uygun olduğu durumda model, yukarıda bahsedildiği gibi işlemin tamamlanabileceği süreyi verecektir. Bu durumda ayırık yerlerin hiçbirinde jeton bulunmayacak ve bağlı oldukları geçişler tetiklenmeyecektir. Belirtilen etkenlere bağlı olarak gecikmeler meydana gelmesi durumunda, hangi etkenler aktif ise ilgili yerlerde başlangıç durumunda 1'er jeton bulunacak, diğer yerlerde jeton olmayacaktır. Etkenlerin planlamayı etkilediği durumda da yine öncelikle T1 geçişi tetiklenecek ve P1 yerindeki jetonlar P2'ye aktarılacaktır. Her bir adımda P15 yerine de 1 jeton aktarılacak ve tüm şartlar uygun olduğu takdirde ihtiyaç duyulan zaman elde edilecektir.

Etkenlerden kaynaklanan gecikme zamanları P2 yerindeki jetonların P3-P4-P5-P6-P7 yerlerine transferi yoluyla, jetonların transferindeki her bir adımda T2-T3-T4-T5-T6 geçişleri ile P15 yerine 1'er jeton aktarılmasıyla gerçekleşecektir.

T7 ve T8 geçişleri toprak türü ve hava şartlarının toprak durumunda neden olduğu ekstra gecikmeler için kullanılacaktır. P3 ve P6 yerlerinden T7-T8 geçişleri ile P4 yerine jetonların aktarılması yoluyla ek gecikme zamanı her bir adımda T7-T8 geçişleri vasıtasıyla P15 yerine 1'er jeton aktarılmasıyla elde edilecektir.

P2 yerindeki jetonlar i farklı dal ile transfer edileceğinden, toplam alanı temsil eden jeton sayısı da her bir kola bölünecektir. $w(T2,P3)=w(T5,P6)=i$ olarak ağırlıklandırılarak T7 ve T8 geçişleri ile toprak türü ve hava şartlarının toprak durumunda neden olduğu ekstra gecikmelerin tüm alan için belirlenebilmesi sağlanacaktır. Ayrıca $w(T2,P3)$ ve $w(T5,P6)$ ile birlikte $w(T3,P4)=w(T4,P5)=w(T6,P7)=i$ olarak seçilerek tüm jetonlar transfer edildiğinde, P3-P4-P5-P6-P7 yerlerindeki jetonların toplamının, gecikme zamanının belirlenmesi işlemi tamamlanan toplam alanı vermesi sağlanacaktır.

T2-T3-T4-T5-T6-T7-T8 geçişlerine atanan çalışma hızı değerleri şu şekilde belirlenmiştir: Örneğin toprak durumu mevcut makine kapasitesine göre ihtiyaç duyulan sürede yukarıda verildiği gibi % b'lik bir gecikmeye neden olmaktadır. Makine kapasitesi için belirlenen çalışma hızı a m²/saat olduğundan, toprak durumundan kaynaklanan gecikmeyi bulabilmek için T2 geçişine atanacak çalışma hızı değeri için a değeri 100/b ile çarpılmalıdır (b/100 değil. Çünkü gecikme değeri, elde edilecek zaman değeri küçüleceğinden, hız ile ters orantılıdır). Diğer taraftan P2 yerindeki jetonlar i kola ayrılacağından, geçiş adımlarının toplam alan değerini, dolayısıyla toplam alan için gecikmeyi yansıtabilmesi için geçişlerin çalışma hızları ayrıca i değerine de bölünmelidir.

P3ve P6'dan P4 yerine jeton transferi ile gerçekleştirilen ek gecikme zamanları için ise, P3 ve P6 yerlerine aktarılan jeton sayısı toplam alan kadar olacağından, T7-T8 geçiş süratlerinin ayrıca i gibi bir katsayıya bölünmesine gerek yoktur.

P15 yerine eklenecek jeton sayıları (gecikme zamanları)'nın belirlenebilmesi için, normal ihtiyaç duyulan zamanın belirlenmesine benzer şekilde ok ağırlıkları $w(T2,P15)= 1/v_{T2}$ $w(T3,P15)= 1/v_{T3}$ $w(T4,P15)= 1/v_{T4}$ $w(T5,P15)= 1/v_{T5}$ $w(T6,P15)= 1/v_{T6}$ $w(T7,P15)= 1/v_{T7}$ $w(T8,P15)= 1/v_{T8}$ şeklinde olacaktır.

Yukarıdaki hususlar dikkate alınarak örnek bir senaryo üzerinden modelin ve bağıntıların doğruluğu kontrol edilecektir.

Örnek : 27 Nisan tarihinden itibaren bir tarla işlemi için 22 Hazirana kadar 56 günlük bir sürenin değerlendirilmesi planlanmaktadır. Haftasonları çalışmaya ara verileceğinden 8 haftada toplam 40 iş günü çalışma icra edilecektir. 40 günde toplam $B=40*8=320$ saat değerlendirilecek olup oluşturulan modelde işlemin tamamlanması için ihtiyaç duyulan zaman belirlenecektir. Gereken zamanın planlanan B zamanına eşit ya da küçük olması hedeflenmektedir.

Dikkate alınacak parametreler aşağıda verilmiştir.

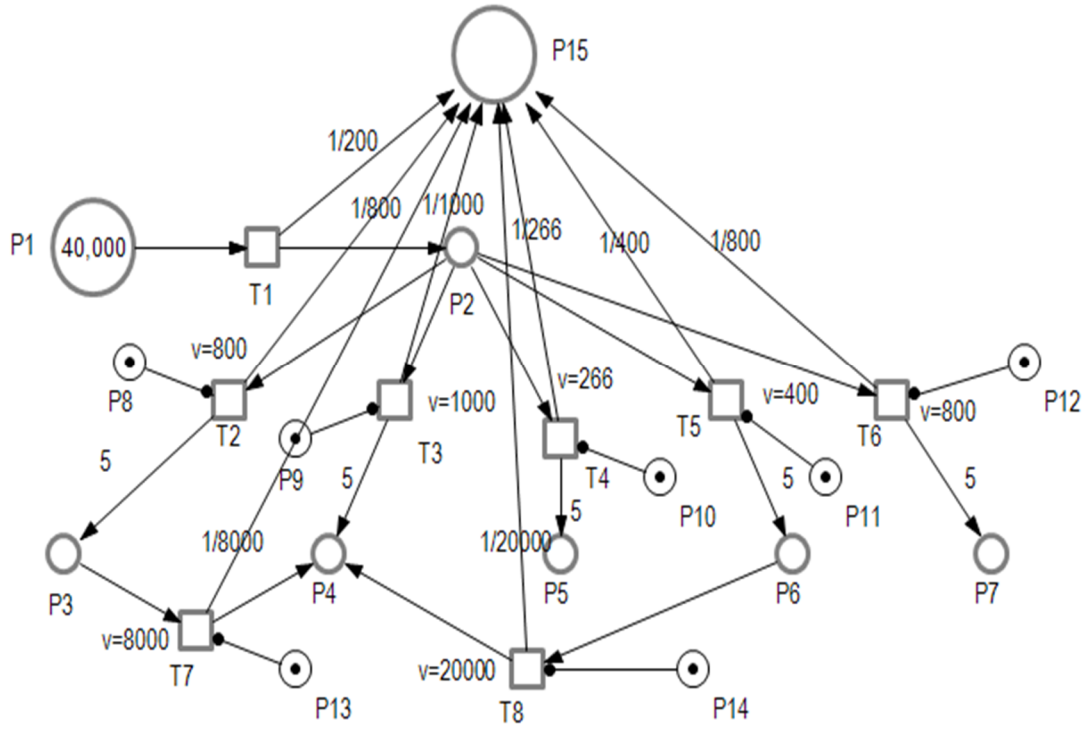
- $A=40000 \text{ m}^2$ $g=2,5$ (%2,5)
- $a=200 \text{ m}^2/\text{saat}$ $h=1$ (%1)
- $b=5$ (%5) $i=5$ (Tüm etkenler aktiftir)
- $c=4$ (%4)
- $d=15$ (%15)
- $e=10$ (%10)
- $f=5$ (%5)

Parametreler doğrultusunda Çizelge 5.7'ye istinaden hesaplanan geçiş çalışma hızları Çizelge 5.8'de verilmiştir.

Çizelge 5.8 : Geçiş çalışma hızları.

Geçiş	Çalışma Hızı
T1	200
T2	800
T3	1000
T4	266
T5	400
T6	800
T7	8000
T8	20000

Bu bilgiler dahilinde ok ağırlıklarının da belirlenmesiyle model Şekil 5.9'daki gibi olacaktır.



Şekil 5.9 : Görev zamanı planlaması için petri ağı modeli.

T1-T7-T8 geçişlerinden 40000, diğer geçişlerden $40000/5=8000$ ($i=5$ olduğundan) jeton geçecektir. P15'e varan okların ağırlıkları ile bağlı bulundukları geçişlerden geçecek jeton sayılarının çarpımı P15 yerinde birikecek toplam jeton sayısını (işlemin tamamlanma süresini) verecektir. Denklem (5.1)'de P15 yerinin nihai işaretlemesi hesaplanmıştır.

$$(5.1)$$

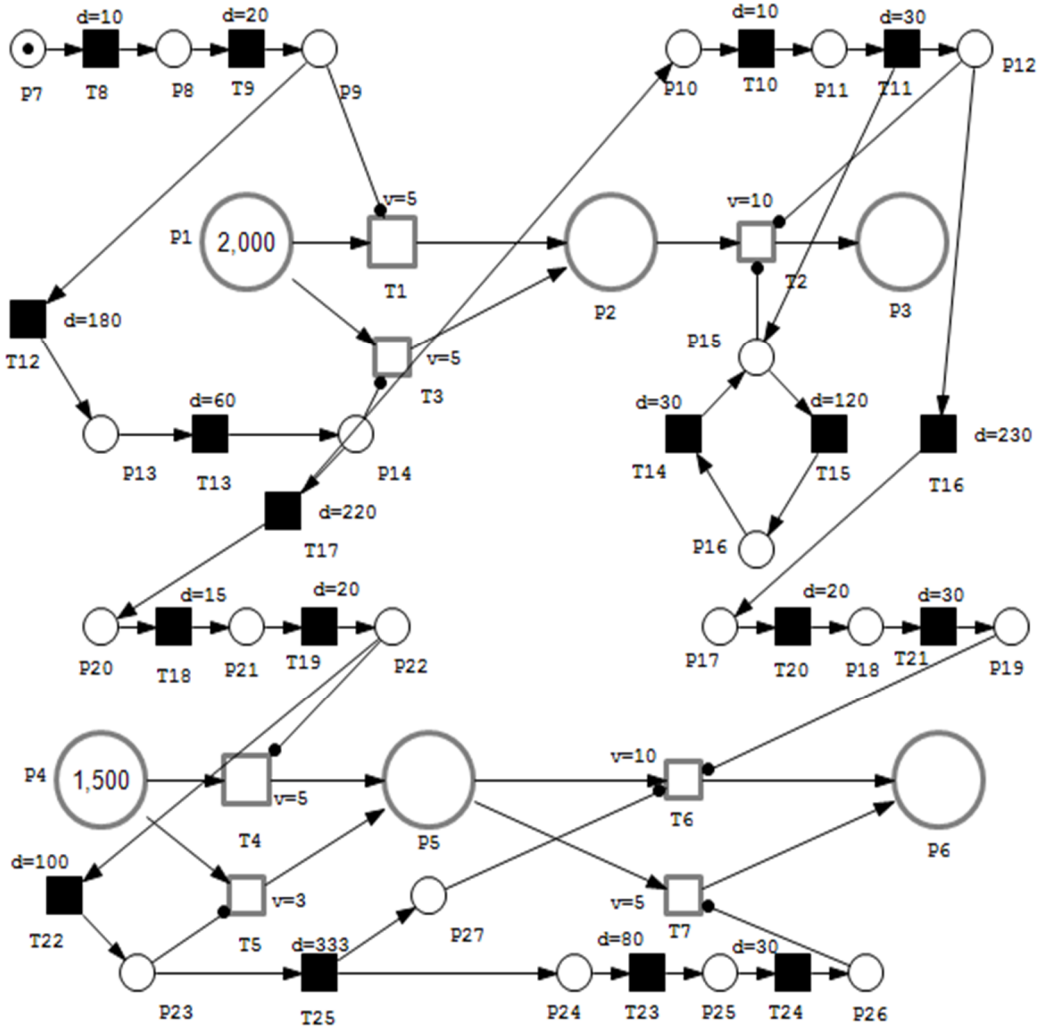
Toplam gereken zaman 285 saat olarak bulunmalıdır. Bu durumda $285 < B=320$ olduğundan yapılan planlamanın uygun olacağı kabul edilecektir. Ayrıca P3-P4-P5-P6-P7 yerlerinde birikecek jeton sayıları da planlaması yapılan alan değeri olan $40000m^2$ karşılığı jetona tekabül edecektir. Oluşturulan petri ağı modeli ile elde edilen sonuçların uyduğu görülmüştür.

5.3 Program Oluşturma

Hibrit petri ağları tarımsal işlerin planlamasındaki karmaşıklıkları önemli ölçüde indirgemektedir [19]. Foulds ve Wilson (2005) yaklaşımlarında hasat işlemi için program oluşturmaya yönelik yenilenebilir kaynakları dikkate almışlardır. Basnet ve diğ. (2006) bu yöntemi tek bir çiftlik seviyesinden çoklu seviyeye taşıyan bir teknik geliştirmişlerdir. Bochtis ve diğ. (2013) ardışık birkaç zirai işlemin, işlem sırasına bağlı hazırlık süresi içeren bir iş akışı olarak sergilenmesinin zorunlu olduğu, coğrafik olarak dağınık birçok alanın yer aldığı bir ortam için bir permütasyon programı bulma problemini formüle etmişlerdir. Orfanou ve diğ. (2013) herbir işlem için birer makinenin kullanıldığı bu yönleme birden fazla makinenin kullanıldığı durumları dahil etmişlerdir.

Bu çalışmada Guan ve diğ. (2008 ve 2009)'nin geliştirdiği hibrit petri ağı modeli referans alınmıştır. Guan ve diğ. (2009)'nin önermiş olduğu modelde, tarımsal işlemin uygulanacağı tarla(lar)ın yüzölçümü referans alınarak kullanılan makinelerin çalışma hızları sürekli geçişlere atanmış, makinelerin ara verilme ve yeniden hazır olma durumları ayrıık yerler ile temsil edilerek sürekli geçişlerin çalışmasının buna bağlı olarak kontrol edilmesi sağlanmışır. Diğer taraftan verilen modelde tarımsal işlem gören alan için hemen ardından diğer işleme geçilmektedir. Çalışma hızına göre 1000 m²'lik bir tarlada makinelerin çalışmaya başlamasıyla 5 m²'lik alana tohum ekiminin yapılmasının hemen devamında yeni bir aracın arkasından takip ederek o bölüme sulama yapması bu duruma örnek olarak verilebilir. Bir tarımsal işlemin ilgili tarlanın bütünü için tamamlanmasından sonra bir sonraki işleme geçilmesi için önerilen modelde birtakım değişiklikler yapılmalıdır. Farklı türdeki tarımsal işler için farklı tip makinelerin kullanılması nedeniyle, çoklu makinelerin çalıştığı bir ortamda bu tür farklı makinelerin, yapıları, süratleri gibi kendine özgü özellikleri nedeniyle aynı saha içerisindeş zamanlı kullanımı mümkün/optimal olmayabilir. Ayrıca bir sonraki tarımsal işlem için belirlenen bir sürenin geçmesi de gerekebilir. Diğer taraftan makinelerin çalışmasının kontrol edildiği ayrıık durum yapısı bir döngü biçiminde olduğundan, periyodik olmayan ayrıık bir etkenin (makinenin geçici olarak devre dışı kalması, olumsuz hava durumu, işçilerin eksikliği vb.) mevcudiyeti durumunda verilen yapı yetersiz kalmaktadır. Nitekim Guan ve diğ. (2009) farklı belirsiz durumların modelde temsil edilebilmesi için harici petri ağı yapılarının eklenebileceğini belirtmişlerdir.

Program oluşturma yönetim görevi kapsamında oluşturulan hibrit petri ağı modelinde bahsedilen bu hususlar dikkate alınmıştır. Bu maksatla oluşturulan hibrit petri ağı modeli şekil 5.10’da görülmektedir. Modelin işleyişinin anlaşılmasında kolaylık olması açısından, verilecek örnek için başlangıç durumunda model bileşenlerinin değerleri de model üzerinde verilmiştir.



şekil 5.10 : Program oluşturma yönetim görevi için petri ağı modeli.

şekil 5.10’daki modelde yer alan yer ve geçişlerin temsil ettiği koşul ve olaylar izelge 5.9’da yer almaktadır.

Çizelge 5.9 : Yer ve geçişlere ilişkin açıklamalar.

Yer/Geçiş	Açıklama	Bileşen Türü
P1	Başlangıçta işlem yapılacak 1. tarla alanının durumu	S
P2	Ekim yapılmış 1. tarla alanının durumu	S
P3	Sulama yapılmış 1. tarla alanının durumu	S
P4	Başlangıçta işlem yapılacak 2. tarla alanının durumu	S
P5	Ekim yapılmış 2. tarla alanının durumu	S
P6	Sulama yapılmış 2. tarla alanının durumu	S
P7	1. tarlaya ekim işlemi için makinenin intikale hazır olması durumu	A
P8	1. tarlaya ekim işlemi için makinenin intikal etmiş olduğu durum	A
P9	1. tarlanın ekim işlemi için makinenin hazır olduğu durum	A
P10	1. tarlanın sulama işlemi için makinenin intikale hazır olması durumu	A
P11	1. tarlanın sulama işlemi için makinenin intikal etmiş olduğu durum	A
P12	1. tarlanın sulama işlemi için makinenin hazır olduğu durum	A
P13	İşçi eksikliğinden dolayı 1. tarlanın ekim işlemine ara verildiği durum	A
P14	İşçi eksikliğinin giderilerek 1. tarlanın ekim işlemine devam edildiği durum	A
P15	Yakıt ihtiyacından kaynaklanan 1. tarlanın sulama işleminin gecikmesinin kontrol edildiği durum	A
P16	1. tarlanın sulama işleminin yakıt ihtiyacından dolayı bekletildiği durum	A
P17	2. tarlanın sulama işlemi için makinenin intikale hazır olması durumu	A
P18	2. tarlanın sulama işlemi için makinenin intikal etmiş olduğu durum	A
P19	2. tarlanın sulama işlemi için makinenin hazır olduğu durum	A
P20	2. tarlaya ekim işlemi için makinenin intikale hazır olması durumu	A
P21	2. tarlaya ekim işlemi için makinenin intikal etmiş olduğu durum	A
P22	2. tarlanın ekim işlemi için makinenin hazır olduğu durum	A
P23	2. tarlanın ekim işlemi için kullanılan makinenin performansının düştüğü durum	A
P24	2. tarlanın sulama işlemi için kullanılacak 2. makinenin intikale hazır olması durumu	A
P25	2. tarlanın sulama işlemi için kullanılacak 2. makinenin intikal etmiş olduğu durum	A

Çizelge 5.9 (devam): Yer ve geçişlere ilişkin açıklamalar.

Yer/Geçiş	Açıklama	Bileşen Türü
P26	2. tarlanın sulama işlemi için kullanılacak 2. makinenin hazır olduğu durum	A
P27	2. tarlada sulama işlemine başlanmasının kontrol edildiği durum	A
T1	1. tarlada ekim işleminin icra edilmesi	S
T2	1. tarlada sulama işleminin icra edilmesi	S
T3	1. tarlada ekim işlemine devam edilmesi	S
T4	2. tarlada ekim işleminin icra edilmesi	S
T5	2. tarlada ekim işlemine düşük makine performansı ile devam edilmesi	S
T6	2. tarlada sulama işleminin icra edilmesi	S
T7	2. tarlada sulama işleminin 2. makinenin de dahil edilerek icra edilmesi	S
T8	1. tarlada ekim işlemi için makinenin intikal etmesi	A
T9	1. tarlada ekim işlemin için makinenin hazır hale getirilmesi	A
T10	1. tarlada sulama işlemi için makinenin intikal etmesi	A
T11	1. tarlada sulama işlemi için makinenin hazır hale gelmesi	A
T12	1. tarlada ekim işlemi için işçi eksikliğinin meydana gelmesi	A
T13	1. tarlada ekim işlemi için işçi eksikliğinin giderilmesi	A
T14	1. tarlada sulama işlemi için makinenin yakıt ihtiyacının giderilmesi	A
T15	1. tarlada sulama işlemi için kullanılan makinede yakıt ihtiyacı oluşması	A
T16	2. tarlada sulama işlemi için makinenin intikale hazır hale gelmesi	A
T17	2. tarlada ekim işlemi ve 1. tarlada sulama işlemleri için makinelerin intikale hazır hale gelmesi	A
T18	2. tarlada ekim işlemi için makinenin intikal etmesi	A
T19	2. tarlada ekim işlemi için makinenin çalışmaya hazır hale getirilmesi	A
T20	2. tarlada sulama işlemi için makinenin intikal etmesi	A
T21	2. tarlada sulama işlemi için makinenin çalışmaya hazır hale getirilmesi	A
T22	2. tarlanın ekim işlemi için kullanılan makinenin performansının düşmesi	A
T23	2. tarlada sulama işlemi için kullanılacak 2. makinenin intikal etmesi	A
T24	2. tarlada sulama işlemi için kullanılacak 2. makinenin çalışmaya hazır hale getirilmesi	A

Çizelge 5.9 (devam): Yer ve geçişlere ilişkin açıklamalar.

Yer/Geçiş	Açıklama	Bileşen Türü
T25	2. tarlanın sulama işlemine hazır hale gelmesi ve sulama işlemi için kullanılacak 2. makinenin intikale hazır hale getirilmesi	A

Modelde bulunan sürekli geçişlerin birim zamanda (dakika) tetiklenme miktarları ($m^2/dk.$) ile ayırık geçişlerin gecikme zamanları Çizelge 5.10'da yer almaktadır.

Çizelge 5.10 : Geçişlerin tetiklenme miktarları ve gecikme zamanları.,

Geçiş	Bileşen Türü	Tetiklenme Miktarı ($m^2/dk.$)/Gecikme Zamanı (dk.)
T1	S	5
T2	S	10
T3	S	5
T4	S	5
T5	S	3
T6	S	10
T7	S	5
T8	A	10
T9	A	20
T10	A	10
T11	A	30
T12	A	180
T13	A	60
T14	A	30
T15	A	120
T16	A	230
T17	A	220
T18	A	15
T19	A	20
T20	A	20
T21	A	30
T22	A	100
T23	A	80
T24	A	30
T25	S	333

Çizelge 5.9'da yer alan 1. ve 2. tarlalar sırasıyla A ve B tarlaları olarak kabul edilmiştir. Modelde $A=2000 m^2$ ve $B=1500 m^2$ yüzölçümüne sahip olan 2 adet tarla için ekim yapılması ve sulama işlemleri planlanmıştır. Her iki işlem için farklı türde birer makine kullanılmıştır. İlk olarak A tarlasında ekim işlemi gerçekleştirilir. Ardından B tarlasına geçilir. A tarlasındaki ekim işlemi bitmeden herhangi bir sulama işlemi yapılmaz. Ayrıca A tarlasında ekim işlemi bittiği zaman, diğer makine ile aynı tarla üzerinde sulama işlemine başlanır. A tarlasındaki sulama işlemi ile B tarlasındaki ekim işlemlerinin tamamlanmasının ardından B tarlasında sulama

işlemine başlanır. Belirtilen her iki işlem bitmeden B tarlasında sulama işlemine başlanılmaz. Böylece her bir tarla için yapılacak işlemler birbiriyle kesişmeden, sırasıyla yapılmış olur. Ayrıca sırası gelen tarla işlemi için kullanılacak diğer makine ile çalışılmaya başlanır ve makine atıl durumda bekletilmemiş olur. Tüm sürekli geçişlerin tetiklenme miktarları (çalışma hızları) kullanılan makinelerin dakika başına işlemini tamamlayacakları alan (m^2) olarak ayarlanmıştır. P1 ve P2 yerlerindeki jetonlar sırasıyla A ve B tarlalarının yüzölçümünü temsil etmektedirler. Sürekli geçişlerden jeton transferi ile, makineler tarafından işlemi tamamlanan alanı belirten jetonlar bir sonraki konumuna aktarılacak ve jeton transferi sona erdiğinde geçmiş olan zamanın yüzölçümüyle değişimi planlanan programı sergileyecektir.

Modelde ayrık yapılar ile dikkate alınan parametreler aşağıda verilmiştir.

- Makinelerin tarımsal işlemin yapılacağı tarlaya intikali.
- İlgili alana intikal etmiş makinelerin kullanıma hazır hale getirilmesi.
- A tarlasının ekim işlemi için işçi eksikliğinden kaynaklanan gecikme.
- A tarlasının sulama işlemi için makinenin yakıt ihtiyacının giderilmesi işleminden kaynaklanan gecikme.
- B tarlasının ekim işlemi sırasında meydana gelen araç arızasından ötürü makinenin performansının düşmesi.
- B tarlasının sulama işlemi sırasında tamirden gelen 2. makinenin sulama işlemine dahil olması.

Modelin çalışması: Başlangıç durumunda P1-P4-P7 yerlerinde sırasıyla 2000, 1500 ve 1 adet jeton bulunmaktadır. A tarlasının ekimi için kullanılacak makine ilgili alana intikal için hazır durumdadır. T8 geçişinin tetiklenmesi ile intikale başlanır ve 10 dk. sonunda intikal tamamlanır (P7'deki jeton P8'e transfer edilir). Ardından T9 geçişi tetiklenerek makine çalışma için hazır hale getirilir. 20 dk. sonunda makine ekim işlemi için kullanıma hazırdır (P8'deki jeton P9'a transfer edildi). Bundan sonra her dakikada bir $5 m^2$ 'lik bir alanın ekim işlemi gerçekleştirilir (P1 yerinden 5'er jeton T1 yerine aktarılır). 180 dakikanın sonunda makine operatörü işçinin yerinden ayrılması nedeniyle işleme ara verilir (T12 geçişine 180 BZ gecikme değeri verilerek 180 BZ sonunda T12 geçişi tetiklenir ve P9 yerindeki jeton P13'e transfer edilir. P9

yerinde jeton kalmadığı için T1 geçişinin tetiklenmesi kesilir). 60 dk'nın sonunda işçinin yerine gelmesiyle ekim işlemine kalınan yerden devam edilir (T13 geçişi tetiklenerek P13'teki jeton P14'e aktarılır. T3 geçişinin tetiklenmesi ile P1'den P2 yerine transfere devam edilir). A alanının ekim işleminin tamamlanmasından sonra T17 geçişi tetiklenerek P10 ve P20 yerlerine birer jeton aktarılır (Bunun için T17 geçişinin gecikme süresi P1 yerindeki jetonların P2 yerine transferinin tamamlanmasına denk gelecek şekilde belirlenmiştir. Burada dikkat edilecek husus, ilk işlemin bitmesi ile diğer işlemlere başlanmasının bu geçişin gecikme süresi ile kontrol edilebilmesidir. Örneğin A tarlasında ekim işlemi tamamlandıktan sonra,devamındaki işlemler için ara verilecekse bu zaman, T17 geçişinin belirlenen gecikme zamanına eklenebilir).

Bu aşamada A tarlasının sulama işlemi için kullanılacak makine ile B tarlasının ekimi için A tarlasında işi biten diğer makine, başlangıçta A tarlasının ekim işleminde olduğu gibi T10-T11 ve T18-T19 geçişleri aracılığıyla intikal ve hazır olma sürecine girecektir. P12 ve P22 yerlerine jeton transferinin gerçekleşmesi ile T2-T4 geçişleri tetiklenerek P2-P4 yerlerinden P5-P6 yerlerine jeton transferine başlanacaktır (A tarlası için sulama işlemi ile B tarlası için ekim işlemi). Bu arada A tarlasında sulama yapacak makinenin yakıt ihtiyacının kontrolü maksadıyla T11 geçişi ile P15 yerine de jeton transferi gerçekleştirilir.

A tarlasında sulama yapan aracın işleme başladıktan 120 dk. sonra yakıt ihtiyacı duyması nedeniyle işleme ara verilir (T15 geçişi tetiklenerek P15 yerindeki jeton P16 yerine transfer edilir. P15 yerinde jeton kalmadığından T2 geçişinin tetiklenmesi kesilir). Yakıt ihtiyacının giderilmesi ile 30 dk.'nın sonunda sulama işlemine devam edilir. Başka herhangi bir gecikmenin meydana gelmemesi durumunda T15 geçişi tekrar tetiklenmeden sulama işlemi tamamlanacağından yakıt ihtiyacından dolayı modele eklenen ayırık yapıdan kaynaklanan başka bir kesinti olmayacaktır. Bu nedenle, başlangıçta belirtilen, modellerdeki döngüsel yapıyı ayırık bileşenlerden kaynaklanan bir zaafiyet meydana gelmez.

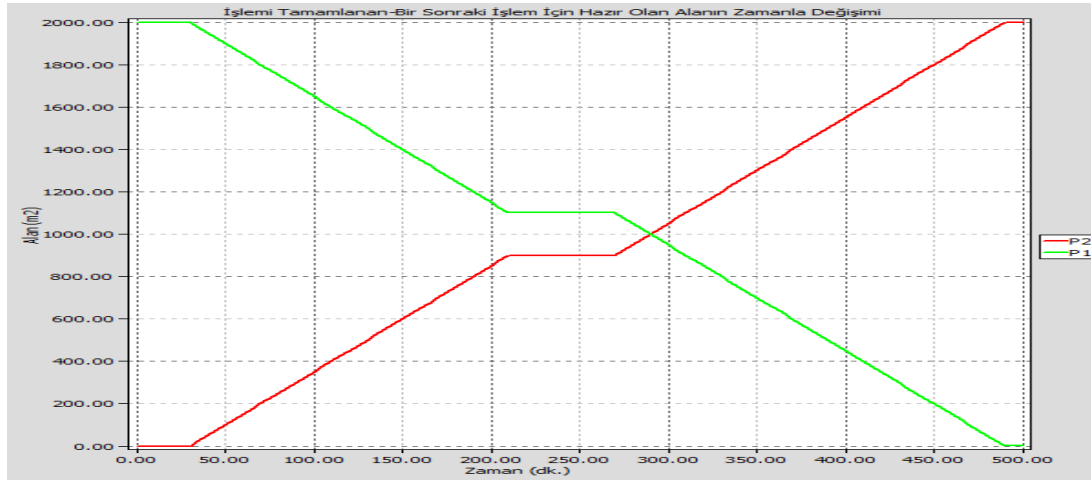
B tarlasında ekim işlemine 100 dk. devam edildikten sonra makinede arızaya bağlı olarak performans düşüklüğü meydana gelmesi durumunda T22 geçişi tetiklenerek P22 yerindeki jeton P23 yerine aktarılır. P22 yerinde jeton kalmadığı için T4 geçişinin tetiklenmesi kesilir. T5 geçişi tetiklenir ve P4 yerinde kalan jetonlar T5 geçişi ile P5 yerine transfer edilir. T5 geçişinin tetiklenme miktarı daha küçük (5

yerine 3) olarak belirlendiğinden mevcut yapı makine arızasından kaynaklanan performans düşmesini yansıtacaktır.

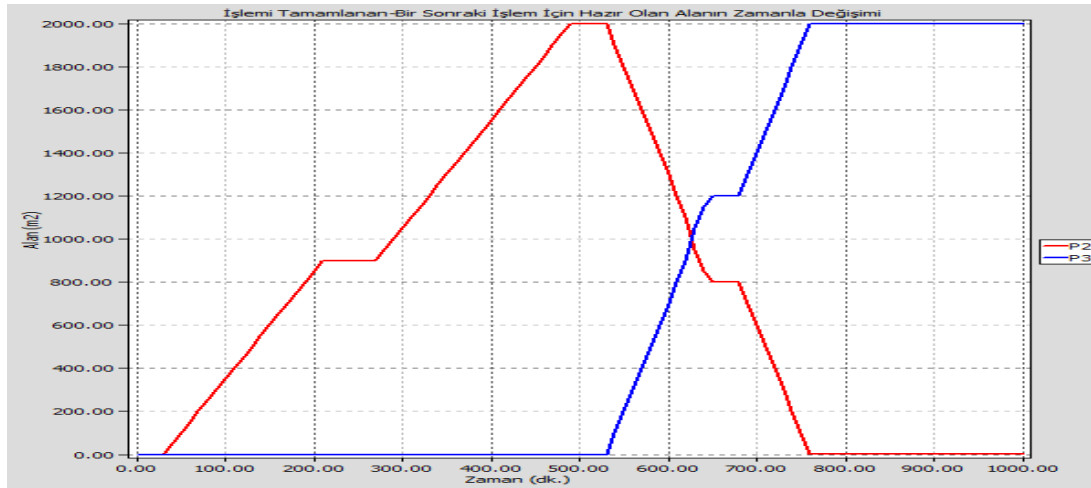
A tarlasının sulama işlemi sona erdiğinde P12 yerindeki jeton T16 geçişi vasıtasıyla P17 yerine transfer edilir. T16 geçişinin işlevi T17 geçişinin işlevi ile benzer şekilde olacaktır. Yine P17 yerine yapılan jeton transferinin ardından T20-T21 geçişleri aracılığıyla B tarlası için sulama makinesinin intikal ve hazır olma adımları gerçekleşecektir. P19 yerine jeton transferinin devamında makine, sulama işlemi için hazır olacaktır. Ancak işleme başlanabilmesi için öncelikle B tarlasının ekim işlemi bitirilmelidir. Bu sebeple ekim işlemi sona erdiğinde (P4 yerindeki jetonlar P5'e transfer edildiğinde) T25 geçişi tetiklenerek (gecikme zamanı T17 ve T16 geçişleri için düşünülen yöntemle belirlenmiştir) P27 yerine jeton transfer edilecektir. Bu adımdan sonra T6 geçişi tetiklenerek P5'ten P6'ya jeton transferine (B tarlasının sulama işlemine) başlanılır.

B tarlası için daha önce arızalandığı varsayılan ve tamir işlemi tamamlanan ikinci bir sulama makinesinin sulama işlemine dahil olması durumunda bu makine için de P24-P25-P26 yerleri ve T23-T24 geçişleri ile intikal ve hazır olma aşamaları göz önüne alınacaktır. Burada T25 geçişi ile ekim işleminin tamamlanmasının ardından P24 yerine jeton transferi ile 2. makine sürece dahil edilmektedir. Makinenin hazır olması ile bu makinenin performansına göre tetiklenme miktar değeri atanan T7 geçişinin tetiklenmesi sonucunda hem T6 hem de T7 geçişleri (her iki makine) ile P5'ten P6'ya jeton transfer edilir. Jeton transferinin tamamlanması ile her iki tarla için de ekim ve sulama işlemleri sona ermiş olur.

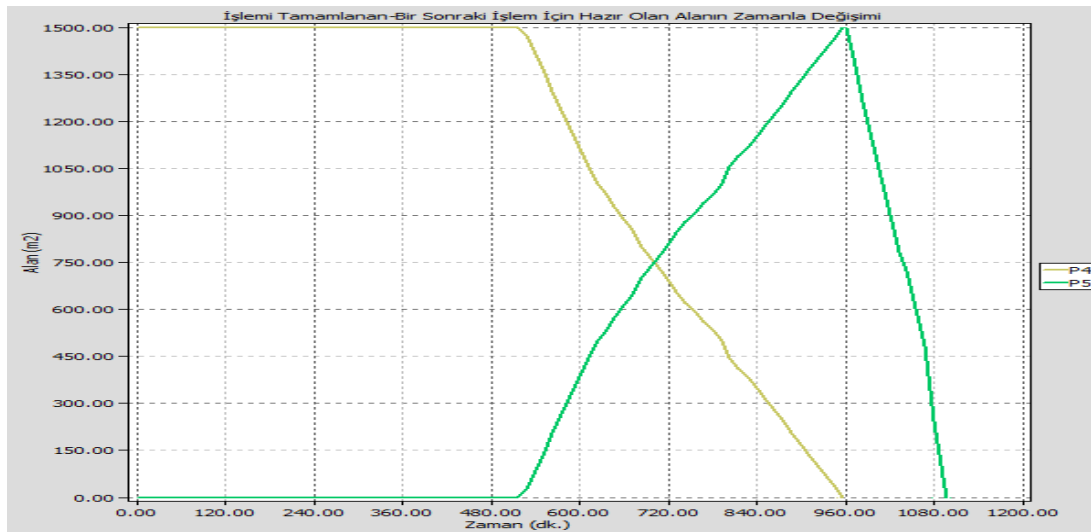
Şekil 5.11, 5.12, 5.13. ve 5.14'te ikisi arasında jeton transferi gerçekleşen sürekli yerlerin (işlemi tamamlanıp bir sonraki işlem için hazır hale gelen alanların) birbirlerine göre değişimleri yer almaktadır. Grafikler incelendiğinde başlangıçta amaçlandığı üzere işlemlerin birbiri ile çakışmadığı ve modelde yer alan parametrelerin etkilerinin sonuçlara yansıdığı görülmektedir.



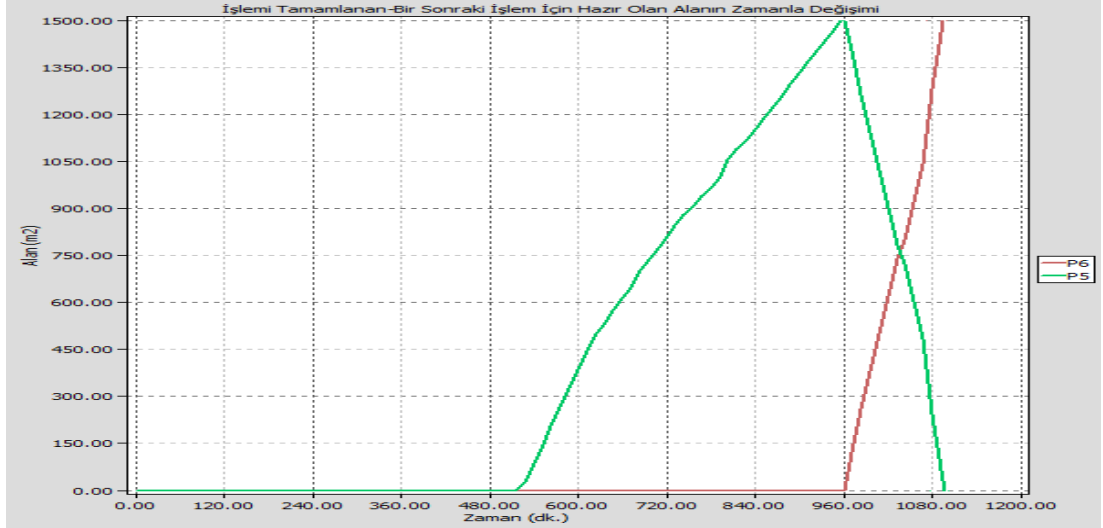
Şekil 5.11 : A tarlasında ekim işlemi yapılacak olan ve sulama işlemine hazır hale gelen alanların durumu.



Şekil 5.12 : A tarlasında sulama işlemi yapılacak olan ve tamamlanan alanların durumu.



Şekil 5.13 : B tarlasında ekim işlemi yapılacak olan ve sulama işlemine hazır hale gelen alanların durumu.



Şekil 5.14: B tarlasında sulama işlemi yapılacak olan ve tamamlanan alanların durumu.

5.4 Güzergah Planlaması

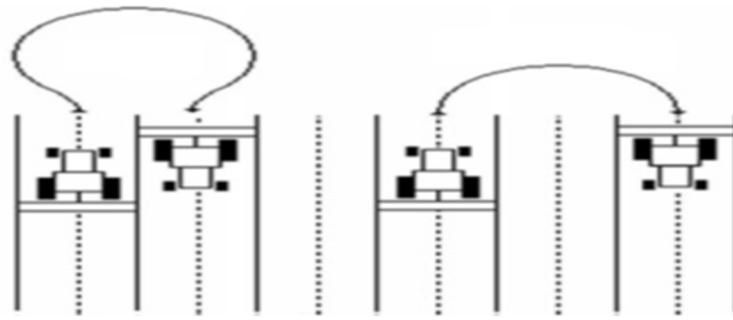
Güzergah planlamasında, zaman, maliyet, tarımsal alan içerisinde makinelerin sevk edileceği rotalar gibi unsurların optimize edilmesi dikkate alınmaktadır. Güzergah planlaması için oluşturulacak petri ağı modelinde, bu unsurlar için belirleyici olabilecek temel etkenlerin etkisi göz önüne alınacaktır. Literatürde güzergah planlaması için farklı yaklaşımlar mevcuttur. Hameed ve diğ. (2010) hem düz hem de eğri saha çalışma yollarının belirlenmesi için bir konumsal düzen yöntemi sunmuşlardır. Geliştirilen diğer yaklaşımda ise Hameed ve diğ. (2013), enerji gereksinimini asgariye indirmek için en uygun yolun düzenlenmesini 3 boyutlu olarak incelemişlerdir. Bunların yanısıra giriş bölümünde belirtilen 3 farklı metoda ilişkin çalışmalar da yer almaktadır. Bu çalışmada oluşturulacak petri ağı modeli ile, alan içerisinde yol planlamasının optimize edildiği varsayılan bir tarla işlemi için yukarıda belirtilen etkenlerde meydana gelebilecek değişimlerin zaman ve maliyet planlamasına etkisi incelenecektir.

Modelde dikkate alınan etkenler aşağıda verilmiştir.

- 1) Saha içerisinde makinelerin hareket edeceği yolların açıları
- 2) Yolların sıralaması
- 3) Dönüş türü
- 4) Arazi koşulları

6) Dönüş sürati

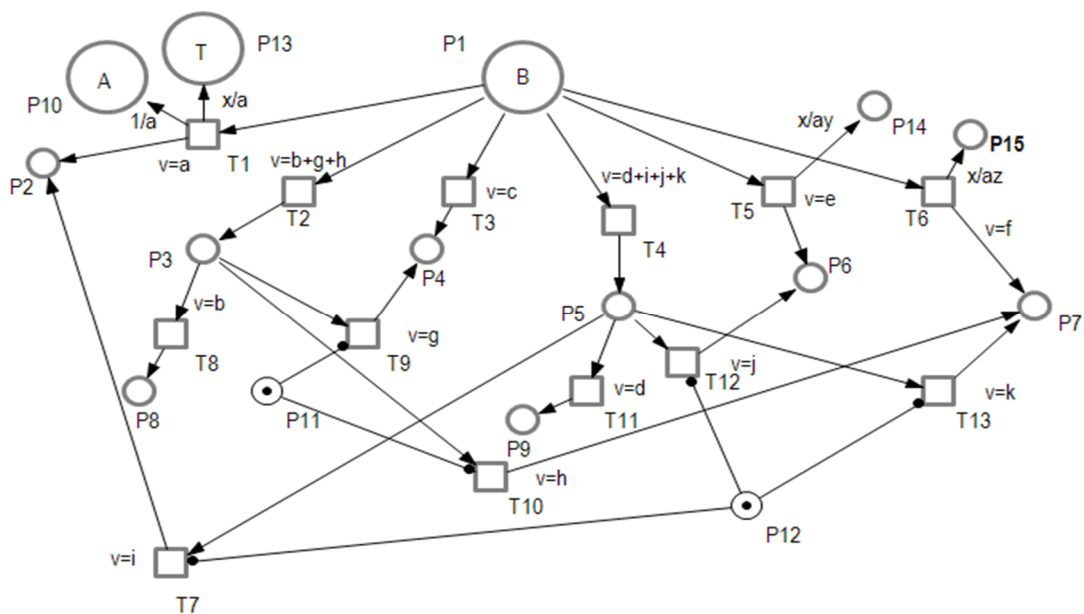
En iyi güzergahın belirlenmesi için tarım alanı içerisinde makinelerin ilerleyeceği yolların hangi açılarda belirleneceği önemli bir husustur. Yolların sıralaması ise makinelerin ilerlediği yolda bir yönde işlemi bitirip o güzergahın sonuna geldikten sonra başka hangi yolda ilerleyeceğini belirler. Örneğin araç hemen bir yanındaki yola girebileceği gibi diğer taraftaki veya 2-3 sıra ötedeki güzergahı da seçebilir. Yapılan planlamaya bağlı olarak dönüş türü de değişebilecektir. Şekil 5.15'te birbirinden farklı dönüş tipleri yer almaktadır.



Şekil 5.15 : Yol (güzergah) sıralaması ve dönüş türleri [26].

Arazi koşulları, makinelerin güzergah üzerindeki ve dönüş esnasındaki süratleri de güzergah planlamasının unsurlarını etkileyecektir.

Şekil 5.16’da güzergah planlaması için oluşturulan hibrit petri ağı modeli verilmiştir.



Şekil 5.16 : Güzergah planlaması için örnek petri ağı modeli.

Modelde bulunan yer ve geçişlere ilişkin açıklamalar Çizelge 5.11'de verilmiştir.

Çizelge 5.11 : Yer ve geçişlerin açıklamaları.

Yer/Geçiş	Açıklama	Bileşen Türü
P1	Başlangıçta planlanan bütçenin durumu	S
P2	Yol açılarından kaynaklanan toplam maliyetin durumu	S
P3	Güzergah sırasından kaynaklanan toplam maliyetin durumu	S
P4	Dönüş türünden kaynaklanan toplam maliyetin durumu	S
P5	Arazi koşullarından kaynaklanan toplam maliyetin durumu	S
P6	Araç süratinden kaynaklanan toplam maliyetin durumu	S
P7	Dönüş süratinden kaynaklanan toplam maliyetin durumu	S
P8	Sadece yol açılarından kaynaklanan maliyetin durumu	S
P9	Sadece arazi koşullarından kaynaklanan maliyetin durumu	S
P10	Planlama yapılan alanın durumu	S
P11	Güzergah sırasının değişiminden kaynaklanan ek maliyetlerin kontrol edildiği durum	A
P12	Arazi şartlarından kaynaklanan ek maliyetlerin kontrol edildiği durum	A
P13	Güzergah planlamasına istinaden tarla işleminin normal tamamlanma zamanının durumu	S
P14	Araç süratinin değişiminden kaynaklanan gecikmenin durumu	S
P15	Dönüş süratinin değişiminden kaynaklanan gecikmenin durumu	S
T1	Sadece yol açılarından kaynaklanan maliyetin, planlama yapılan alanın ve normal planlama süresinin belirlenmesi işlemi	S
T2	Güzergah sırasından kaynaklanan toplam maliyetin belirlenmesi işlemi	S
T3	Sadece dönüş türünden kaynaklanan maliyetin belirlenmesi işlemi	S
T4	Arazi koşullarından kaynaklanan toplam maliyetin belirlenmesi işlemi	S
T5	Sadece araç süratinden kaynaklanan maliyet ile araç süratindeki değişimlerin neden olduğu gecikmelerin belirlenmesi işlemi	S
T6	Sadece dönüş süratinden kaynaklanan maliyet ile dönüş süratindeki değişimlerin neden olduğu gecikmelerin belirlenmesi işlemi	S
T7	Arazi koşullarındaki değişimin, yol açılarından kaynaklanan giderlerde neden olduğu ek maliyetlerin eklenmesi işlemi	S

Çizelge 5.11 (devam): Yer ve geçişlerin açıklamaları.

Yer/Geçiş	Açıklama	Bileşen Türü
T8	Sadece güzergah sırasından kaynaklanan maliyetin belirlenmesi işlemi	S
T9	Güzergah sıralamasının değişiminin, dönüş türünden kaynaklanan giderlerde neden olduğu ek maliyetlerin eklenmesi işlemi	S
T10	Güzergah sıralamasının değişiminin, dönüş süratinden kaynaklanan giderlerde neden olduğu ek maliyetlerin eklenmesi işlemi	S
T11	Sadece arazi koşullarından kaynaklanan maliyetin belirlenmesi işlemi	S
T12	Arazi koşullarındaki değişimin, araç süratinden kaynaklanan giderlerde neden olduğu ek maliyetlerin eklenmesi işlemi	S
T13	Arazi koşullarındaki değişimin, dönüş süratinden kaynaklanan giderlerde neden olduğu ek maliyetlerin eklenmesi işlemi	S

Çizelge 5.11’de “sadece” ibaresi ile başlayan ifadeler ile, belirtilen maliyet etkeninin diğer maliyet etkenlerinde neden olduğu değişimlerin yer almadığı, sadece o etkenden kaynaklanan maliyet miktarının belirlenmesi işlemi veya durumu kastedilmektedir. Bir maliyet etkenindeki değişimin diğer etkenlerde dolaylı olarak neden olabileceği ek maliyetler, tanımlanan geçişlerle ek maliyetlerin oluştuğu ana maliyet etkenlerine dahil edilmiştir.

Modelde A m²'lik bir tarım alanı için B lira bütçe ve T zamanında yapılan güzergah planı ile tarımsal işlemlerin yürütüleceği varsayılmaktadır. B lira kadar jeton P1 yerinde başlangıç durumunda yer almakta, model çalıştırıldığında bu jetonlar maliyet çeşitlerine göre ayrılmakta ve ilgili olduğu yerlerde toplanarak o maliyet türünün miktarını vermektedir. Verilen 6 etken için giderler belirlenmektedir. Ancak modeldeki maliyetlerin etkenlere göre ayrıştırılması, etkenlerin toplam maliyeti oran olarak birbirinden farklı etkilemesi şeklinde değerlendirilmiştir. Aksi takdirde doğrudan bu etkenler için ayrı ayrı bir maliyet tanımlaması yapılmamıştır.

Yol güzergahlarının sıralamasındaki değişimin dönüş türü ve dönüş süratinden; arazi koşullarındaki değişimin ise yol açılarından, araç sürati ve dönüş süratinden kaynaklanan maliyetleri de etkileyeceği varsayılmıştır. Ayrıca araç ve dönüş süratinde meydana gelebilecek değişimler için ayrıca gecikme zamanları hesaplanmaktadır.

Model için değişecek durumlardan dolayı oluşabilecek ek maliyet ve gecikmelerle kastedilen, örnek olarak bir tarladan başka bir tarlaya geçişte arazi koşullarının değişmesinden dolayı yapılan yol planlamasının, yol aıların, makinelerle yeni koşullarda zirai işlemin icra edilebileceği azami makine süratinin değişmesi gibi nedenlerle ek maliyetlerin oluşması ve gecikmelerin meydana gelebilmesidir. Benzer şekilde aynı tarla için de çeşitli nedenlerle (rneğin yol açılarında) planlamada değişiklik olması durumunda oluşabilecek ek maliyet ve gecikmeler modele yansıtılabilecektir. Oluşturulan model ile, değişen koşullarda en baştan tekrar planlama yapılması yerine, yeni koşulların modele yansıtılmasıyla güncellenen planlamanın daha kolay yapılabilmesi amaçlanmıştır.

Modelde yer alan ayrıık yerler ile bu değişimlerin kontrol edilmesi sağlanmaktadır. Örneğin arazi şartlarının değişiminden ötürü önceden belirlenen makine sürati ile oluşan maliyetlerde (yakıt masrafı gibi) artış meydana gelmesi durumunda P12 yerinde jeton bulunacak ve T12 geçişi tetiklenecektir. Değişen bir durumun mevcut olmaması halinde ise P12’de jeton olmayacak ve T12 geçişi tetiklenmeyecektir.

Bu modelde, maliyet ve zaman bileşenleri ile planlama yapılan alanın belirlenebilmesi için geçişlerin ve okları ağırlıklarına çeşitli katsayılar verilmiştir. Geçişlere verilen değerler ile 1’den farklı ağırlığa sahip okların ağırlıkları izelge 5.12’de görülmektedir.

Çizelge 5.12 : Geçiş/ok çalışma hızları/ağırlıkları.

Geçiş/Ok	alışma Hızı/Ağırlığı	Geçiş/Ok	alışma Hızı/Ağırlığı
T1	a	T10	h
T2	b+g+h	T11	d
T3	c	T12	j
T4	d+i+j+k	T13	k
T5	e	w(T1,P10)	1/a
T6	f	w(T1,P13)	x/a
T7	i	w(T5,P14)	x/ay
T8	b	w(T6,P15)	x/az
T9	g		

Çizelge 5.12’de yer alan geçiş sratlerinde kullanılan her bir harf (x,y,z hariç), geçişlerin izelge 5.11’de ilişkilendirildiği maliyet bileşenleri için metrekare başına (lira/m²) maliyet değerine eşittir. Örneğin sadece yol açılarından kaynaklanan maliyet değerı her bir metrekare için a lira/m²’dir.

T2 ve T4 geçişlerinin çalışma hızlarının Çizelge 5.12'de olduğu gibi belirlenmesinin nedeni güzergah sıralaması ve arazi koşullarının diğer etkenlerde neden olduğu ek maliyetlerin (jetonların) toplamının P1 yerinden çekilerek daha sonra ilgili olduğu yerlere aktarılmasıdır. Tüm geçişlerdeki sürat değerleri m^2 başına maliyeti belirtecek şekilde tanımlandığından P10 yerinde planlama yapılan alanın belirlenebilmesi için $w(T1,P10)= 1/a$ olarak, T1 geçiş hızının oran olarak tersi şeklinde belirlenmiştir. $w(T1,P13)$ ok ağırlığındaki x katsayısı ise metrekaresine saat cinsinden ($saat/m^2$) tarla işleminin tamamlanacağı toplam vakti verecek kadar P13 yerinde jeton birikmesi için kullanılmaktadır. $w(T5,P14)$ ve $w(T6,P15)$ 'teki y ve z katsayıları, gecikme zamanlarının belirlenmesi için dahil edilmiştir.

Örnek: Çizelge 5.13'te verilen değerler ile modelin çalışması kontrol edilecektir.

Çizelge 5.13 : Güzergah planlaması modeli için seçilen bileşenler.

Bileşen	Maliyet (lira)/Zaman (saat)/Alan (m^2)	Belirleneceği Yer
Bütçe	B=150000	P1
Yol açılarından kaynaklanan maliyet	25000	P2
Güzergah sırasından kaynaklanan maliyet	12500	P8
Dönüş türünden kaynaklanan maliyet	25000	P4
Arazi koşullarından kaynaklanan	12500	P9
Araç süratinden kaynaklanan maliyet	25000	P6
Dönüş süratinden kaynaklanan maliyet	25000	P7
Güzergah sıralamasının değişiminin, dönüş türünden kaynaklanan giderlerde neden olduğu ek maliyet	5000	P4
Güzergah sıralamasının değişiminin, dönüş süratinden kaynaklanan giderlerde neden olduğu ek maliyet	7500	P7
Arazi koşullarındaki değişimin, yol açılarından kaynaklanan giderlerde neden olduğu ek maliyet	2500	P2
Arazi koşullarındaki değişimin, araç süratinden kaynaklanan giderlerde neden olduğu ek maliyet	5000	P6
Arazi koşullarındaki değişimin, dönüş süratinden kaynaklanan giderlerde neden olduğu ek maliyet	5000	P7
Planlama yapılan alan	A=2500	P10
Güzergah planlamasına istinaden tarla işleminin normal tamamlanma zamanı	T=25	P13
Araç süratinin değişiminden kaynaklanan gecikme	1,25	P14
Dönüş süratinin değişiminden kaynaklanan gecikme	1,25	P15

Çizelge 5.13'e göre aynı yerde temsil edilecek değerlerin toplamı modelde görüntülenebilecektir. Bu nedenle simülasyon sonunda ayrık yerlerin jeton sayılarının değişmemesi, sürekli yerlerin ise;

- P2: 27500
- P4: 30000
- P6: 30000
- P7: 37500
- P8:12500
- P9: 12500
- P10: 2500
- P13: 25
- P14: 1,25
- P15: 1,25

jetona sahip olması beklenmelidir. Diğer sürekli yerlerde jeton bulunmamalıdır.

Çizelge 5.13'teki her bir bileşen için ilgili geçişlere metrakare başına hesaplama için atanması gereken değerler Çizelge 5.14'te verilmiştir.

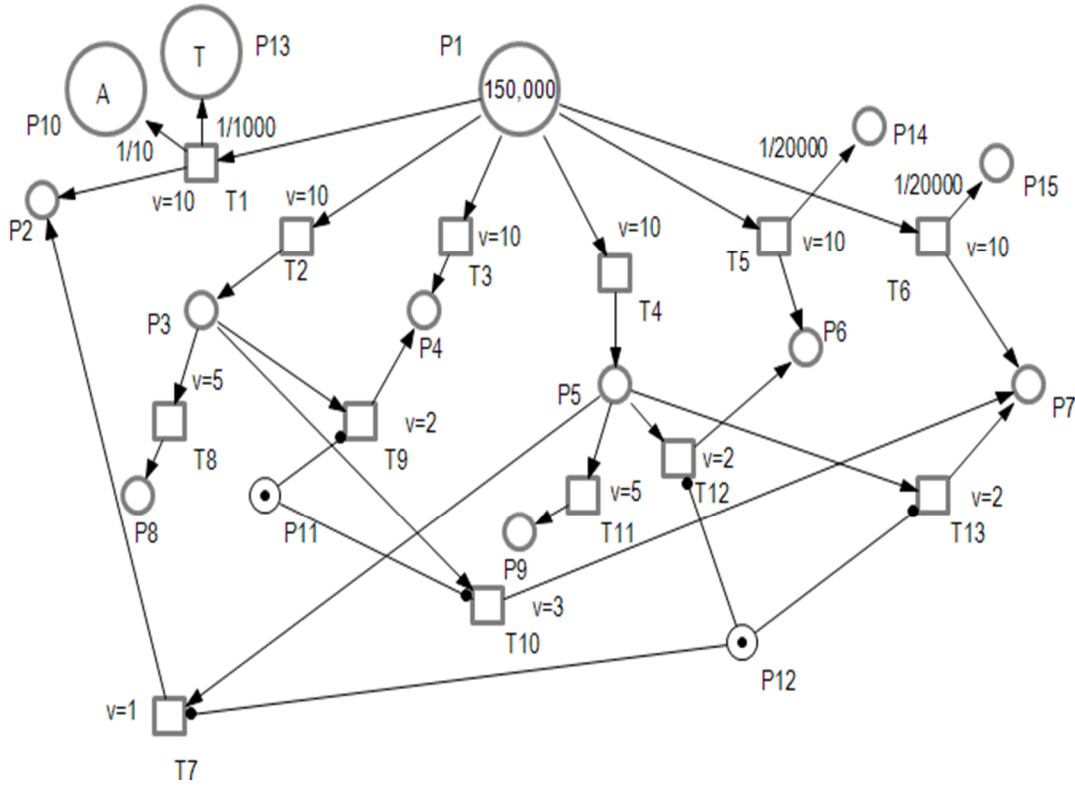
Çizelge 5.14 : Geçiş/ok çalışma hızları/ağırlıkları.

Geçiş/Ok	Çalışma Hızı/Ağırlığı	Geçiş/Ok	Çalışma Hızı/Ağırlığı
T1	a=10	T10	h=3
T2	b+g+h=5+2+3=10	T11	d=5
T3	c=10	T12	j=2
T4	d+i+j+k=5+1+2+2=10	T13	k=2
T5	e=10	w(T1,P10)	1/a=1/10
T6	f=10	w(T1,P13)	x/a=0,01/10=1/1000
T7	i=1	w(T5,P14)	x/ay=0,01/(10x20)=1/20000
T8	b=5	w(T6,P15)	x/az=0,01/(10x20)=1/20000
T9	g=2		

Araç ve dönüş süratlerindeki değişimin %5'er ek gecikmeye sebep olduğu varsayılarak, y ve z katsayıları ters orantıdan 20 olarak alınmıştır. Herhangi bir gecikme söz konusu olmaması durumundaw(T5,P14) ve w(T6,P15) ok ağırlıkları 0 olarak alınmalıdır.

Mevcut makine gücü ile 1 m²'lik alanın işleminin 0,01 saatte tamamlanabileceği kabul edilmiştir. Bu nedenle x değeri x=0,01 saat/m² olarak kullanılacaktır.

Belirlenen değerlerin atandığı petri ağı modeli Şekil 5.17'de verilmiştir.



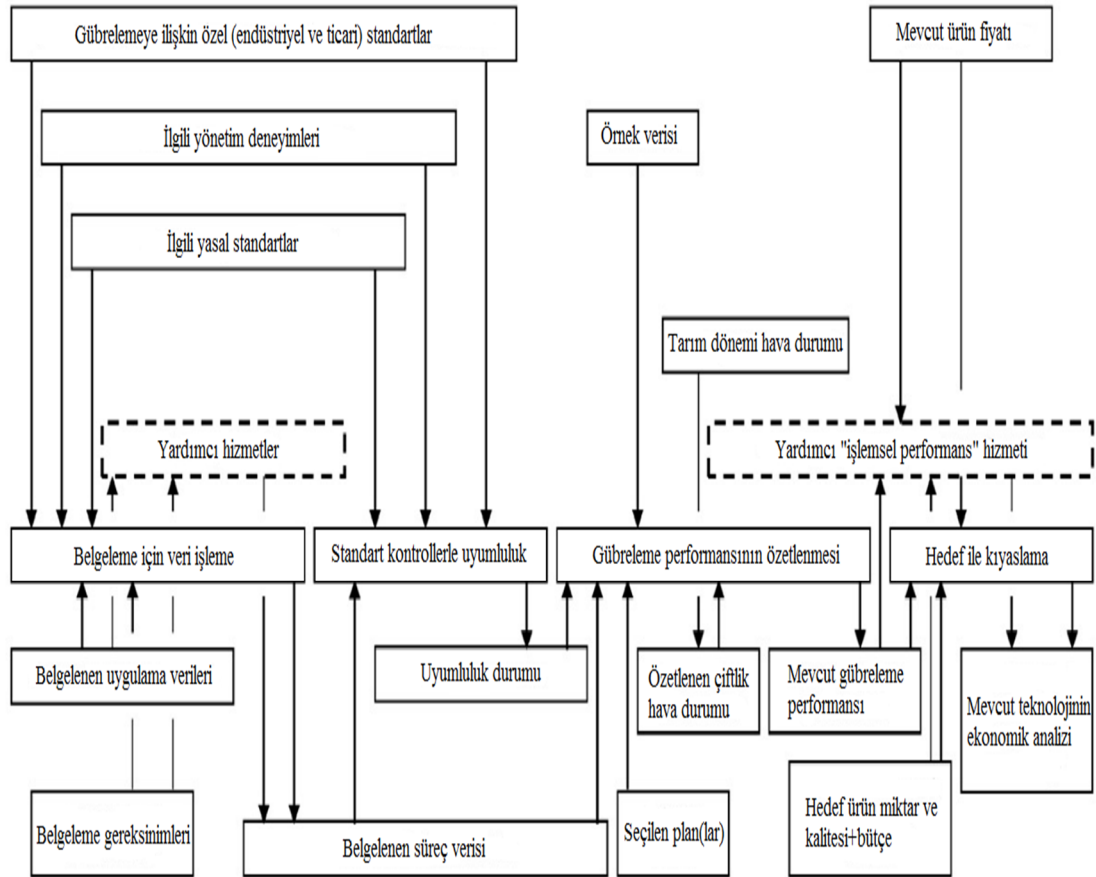
Şekil 5.17 : Güzergah planlaması örneği için petri ağı modeli.

Model sonuçlarının hesaplanan değerlerle uyduğu görülmüş ve modelin doğruluğu teyit edilmiştir. Optimizasyon yapıldığı kabul edilen güzergah planlaması için ayrılan bütçe ile, işlemi tamamlanabilen alan ve planlanan zaman, model ile bulunan değerlerden az olmadığı müddetçe yapılan planlamanın uygun olabileceği değerlendirilebilir. Bu örnek için, ayrılan $B=150000$ lira bütçe ve kabul edilen mevcut makine gücü ile 2500 m^2 'lik bir tarlanın işlemi, koşulların uygun olması durumunda 25 saatte, planlamayı etkileyen durumlarda değişiklik olması durumunda, verilen modelde olduğu gibi gecikmelerle birlikte 27,5 saatte tamamlanabilmektedir. Tarımsal işlem için tahsis edilen zaman 27,5 saatten az olmadığı sürece zamanlama yönünden planlama uygun olacaktır.

Etkenlerdeki değişiklikler nedeniyle maliyette artış meydana gelmekte, bu nedenle de mevcut bütçeyle ancak 2500 m^2 'lik bir alanın işlemi tamamlanabilmektedir. İşlem yapılması planlanan tarım alanı bu değeri geçmediği sürece ayrılan bütçenin yeterli olduğu söylenebilir.

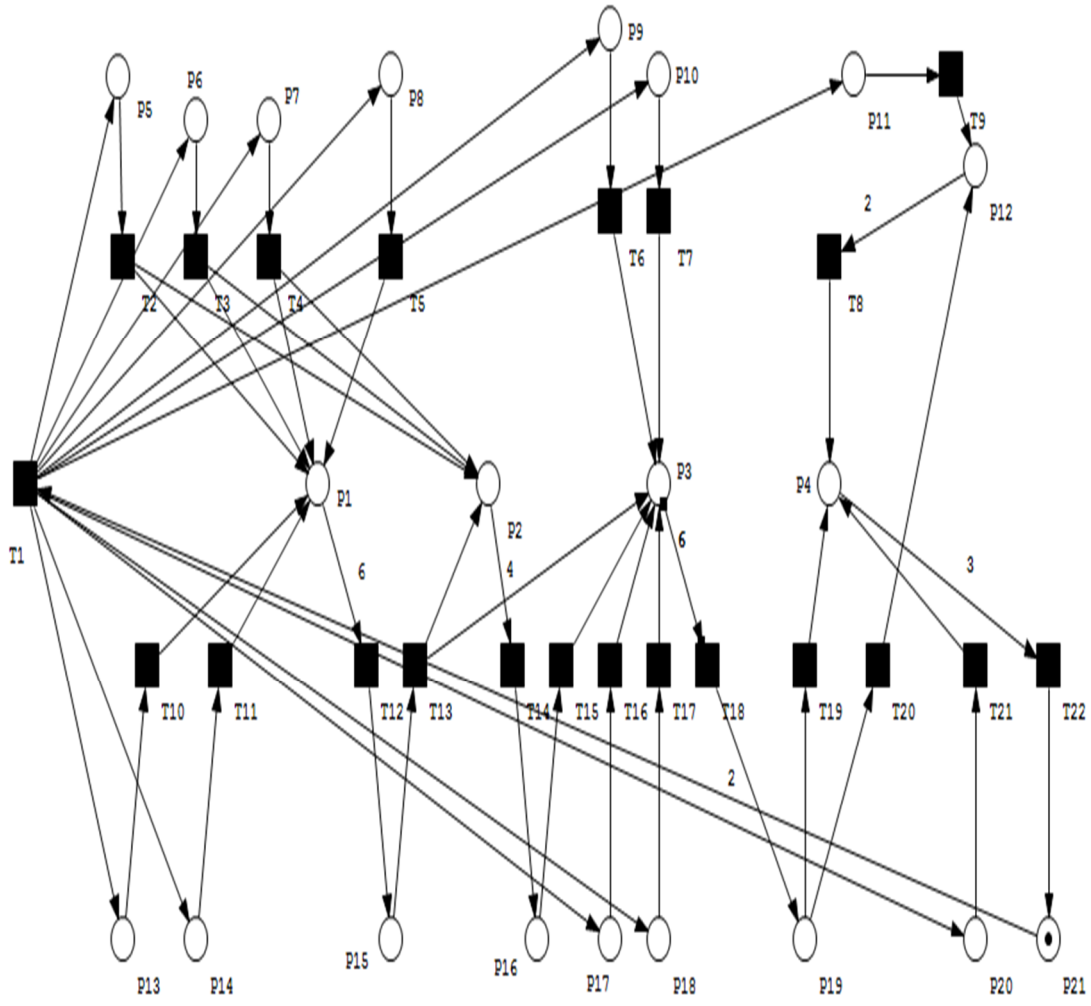
5.5 Performans Değerlendirme

Sorensen ve diğ. (2010) tarafından gübreleme işlemi referans alınarak değerlendirme görevi kapsamında genel olarak bilgi akışı ve dört ana karar verme aşamasını içeren bağlantılar belirtilmiştir. Performans değerlendirmesine ilişkin süreç şeması Şekil 5.18’de verilmiştir.



Şekil 5.18 : Performans değerlendirmeye ilişkin süreç şeması [7].

Performans değerlendirmesi için temel olarak dikkate alınan sürece ilişkin Şekil 5.19’da yer alan ayrık petri ağı modeli oluşturulmuştur.



Şekil 5.19 : Performans değerlendirme için örnek petri ağı modeli.

Çizelge 5.15’te modeldeki geçiş ve yerlere ilişkin açıklamalar yer almaktadır. Model ayrık petri ağı olduğundan tüm model elemanları da ayrıktır.

Çizelge 5.15 : Geçiş/ok çalışma hızları/ağırlıkları.

Geçiş/Yer	Açıklama
P1	Belgeleme için veri işlemeye hazır olduğu durumu
P2	Standart kontrollerle uyumun kontrolü için hazır olduğu durum
P3	Performans özetinin yapılmaya hazır olduğu durum
P4	Hedefle kıyaslamamanın yapılmaya hazır olduğu durum
P5	Endüstriyel ve ticari standartların durumu
P6	Yönetim deneyimlerinin durumu
P7	Yasal standartların durumu
P8	Veri işleme için yardımcı hizmetlerin durumu
P9	Örnek verilerinin (norm data) durumu
P10	Tarım döneminin hava durumu
P11	Mevcut ürün fiyatlarının durumu
P12	Yardımcı işlemsel performans hizmetinin durumu
P13	Belgeleme gereksinimlerinin durumu
P14	Belgelenen uygulama verilerinin durumu
P15	Belgelenen süreç verisinin durumu
P16	Standart kontrollerle uyum kontrolü sonucunun elde edildiği durum
P17	Seçilen plan(lar)ın durumu
P18	Özetlenen hava şartlarının durumu
P19	Mevcut işlem performansının durumu
P20	Hedeflenen ürün miktar ve kalitesi ile bütçenin durumu
P21	Hedefle kıyaslama sonucunda mevcut teknolojinin ekonomik analizinin elde edildiği durum
T1	Performans değerlendirilmesi işleminin başlatılması/önceki performans verisinin hedefle kıyaslanması sonucunda elde edilen bilgiler ile mevcut teknolojinin ekonomik analizinin, yeni değerlendirme sürecinde kullanılması işlemi
T2	Endüstriyel ve ticari standartların belgeleme için veri işleme işleminedahil edilmesi
T3	Yönetim deneyimlerinin belgeleme için veri işlemeişlemine dahil edilmesi
T4	Yasal standartların belgeleme için veri işleme işlemine dahil edilmesi
T5	Yardımcı hizmetler ile belgeleme için veri işleme maksadıyla bilgi alışverişinin yapılması işlemi
T6	Örnek verilerinin performans özeti oluşturulması işlemine dahil edilmesi
T7	Tarım dönemi hava koşullarının performans özeti oluşturulması işlemine dahil edilmesi
T8	Yardımcı işlemsel performans hizmetinin durumunun hedefle kıyaslama işlemine dahil edilmesi
T9	Mevcut ürün fiyatlarının durumunuyardımcı işlemsel performans hizmet verilerinedahil edilmesi

Çizelge 5.15 (devam): Geçiş/ok çalışma hızları/ağırlıklar

Geçiş/Yer	Açıklama
T10	Belgeleme gereksinimlerinin, belgeleme için veri işleme işlemine dahil edilmesi
T11	Belgelenen uygulama verilerinin belgeleme için veri işleme işlemine dahil edilmesi
T12	Belgeleme için verilerin işlenmesi işlemi
T13	Belgelenen süreç verisinin standart kontrollerle uyum ve performans özetinin oluşturulması işlemine dahil edilmesi
T14	Standart kontrollerle uyumluluğun kontrol edilmesi işlemi
T15	Standart kontrollerle uyum durumunun performans özeti oluşturulması işlemine dahil edilmesi
T16	Seçilen planların performans özeti oluşturulması işlemine dahil edilmesi
T17	Özetlenen hava durumu bilgisinin performans özeti oluşturulması işlemine dahil edilmesi
T18	Performans özetinin oluşturulması işlemi
T19	Mevcut işlem performansının hedefle kıyaslama işlemine dahil edilmesi
T20	Mevcut işlem performansının yardımcı işlemsel performans hizmeti verilerine dahil edilmesi
T21	Hedeflenen ürün miktar ve kalitesi ile bütçe bilgisinin hedefle kıyaslama işlemine dahil edilmesi
T22	Mevcut performans verisinin istenilen hedefle mukayese edilmesi

P1-P2-P3-P4 yerleri 4 ana karar verme aşamasını (belgeleme için veri işleme, standart kontrollerle uyumluluk, işlem performansının özetlenmesi ve hedef ile kıyaslama), P21 yeri başlangıç/önceki performans verisi ile mevcut teknolojinin ekonomik analizinin durumunu temsil etmektedir. Diğer yerler ise Çizelge 5.15'te belirtilen ve bu 4 aşama için kullanılacak giriş/çıkış verilerinin durumunu belirtmektedir. T1 geçişinin tetiklenmesi ile performans değerlendirme işlemine başlanılır. T2-T3-T4-T5-T10-T11 geçişleri ile P5-P6-P7-P8-P13-P14 yerlerindeki veriler (jetonlar), belgeleme için işlenmek maksadıyla P1 yerine aktarılır. T12 geçişi ile veriler işlenerek P15 yerinde işlenen veriler elde edilmiş olur. T13 geçişi ile işlenmiş veriler, standart kontrollerle uyumluluk kontrolü için, ilk aşamada P5-P6-P7 yerlerinden T2-T3-T4 geçişleri ile P2 yerine aktarılan verilere dahil edilerek uyumluluk kontrolüne hazır hale gelir. Aynı zamanda işlenmiş veri bilgisi performans özetinin oluşturulması işlemine dahil edilmek üzere P3 yerine de iletilir. T14 geçişi ile standart kontrollerle uyum kontrolü işlemi gerçekleştirilir ve sonuçlar P16 yerinde elde edilmiş olur. Elde edilen sonuçlar performans özetinin oluşturulması maksadıyla, yine başlangıçta T6-T7-T16-T17 geçişleri ile P9-P10-P17-

P18 yerlerinden alınan ve P3 yerine aktarılan verilere T15 geçişinin tetiklenmesiyle dahil edilir. T18 geçişinin tetiklenmesi ile performans özeti oluşturularak P19 yerinde elde edilir. Ardından performans özeti bilgisi, hedef ile kıyaslama için T19 geçişi vasıtasıyla hem P4 yerine aktarılır hem de yardımcı işlemsel performans hizmeti için kullanılmak üzere, başlangıçta T9 geçişi ile P11'den P12'ye aktarılan mevcut ürün fiyat verisine dahil edilir. Ardından P12 yerinde elde edilen yardımcı işlemsel performans hizmeti durum verisi de T8 geçişi ile, başlangıçta T21 geçişi ile P20 yerinden P4 yerine aktarılan hedeflenen ürün miktar ve kalitesi ile bütçe bilgisi verisine dahil edilir. P4 yerinde elde edilen veriler ile arzu edilen hedefle mevcut durumun mukayesesi T22 geçişinin tetiklenmesi ile yapılarak P21 yerinde karşılaştırma sonuçları elde edilir. T1 geçişi ile mevcut teknolojinin ekonomik analizi yapılarak başlangıç durumuna geri dönülür. Elde edilen sonuçların T1 geçişi ile yeni değerlendirmede kullanılması ile aynı süreç kendi içinde tekrar eder.

P1-P2-P3-P4 yerlerinden çıkan oklar, tek bir döngüde birikecek jeton sayısı kadar ağırlıklandırılmıştır. Böylece her bir aşamanın icra edilmesi için gerekli olan bilgileri temsil eden jetonların gelişinin tamamlanmasıyla bu 4 işlemin yapılması sağlanmıştır. Herhangi bir bilginin henüz ulaşmamış olması durumunda, okların ağırlığından ötürü bu yerlere ait çıkış geçişleri tetiklenmeyecektir.

Şekil 5.19'daki petri ağı INA programı ile analiz edildiğinde temiz petri ağı olduğu, sıradan petri ağı olmadığı, tutarlı ve homojen (tüm yerler için herhangi bir yerden çıkan okların ağırlıklarının o yer için eşit olması) olmadığı gibi birtakım özellikleri elde edilebilmektedir. Önemli olduğu değerlendirilen sonuçlar aşağıda verilmiştir.

- Petri ağının ölü erişilebilir durumu (kördüğüm) yoktur (The net has no dead reachable states).
- Petri ağı canlıdır (The net is live).
- Petri ağı sınırlıdır (The net is bounded).
- Petri ağı tersinirdir (The net is reversible (resetable)).

Oluşturulan model canlıdır ve herhangi bir kilitleme durumu meydana gelmeyecektir. Model sınırlı olduğundan verilerin işlenmemesi, jetonların birikerek taşmaya (overflow) neden olması gibi durumlar meydana gelmeyecektir.

INA programı ile erişilebilen durumlar (reachable states) yazdırılabilmektedir. Programın bu özelliği kullanıldığında sırasıyla Çizelge 5.16'daki durumlar elde edilmiştir.

Çizelge 5.16 : Performans değerlendirme modelinin erişilebilir durumları.

Durum	Yer Numarası																				
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21
M ₀	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1
M ₁	0	0	0	0	1	1	1	1	1	1	1	0	1	1	0	0	1	1	0	1	0
M ₂	6	3	4	1	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0
M ₃	0	3	4	1	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	1	0	0	0	0	0	0
M ₄	0	4	5	1	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0
M ₅	0	0	5	1	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	1	0	0	0	0	0
M ₆	0	0	6	1	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0
M ₇	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	2	0	0
M ₈	0	0	0	2	0	0	0	0	0	0	0	20	0	0	0	0	0	0	0	0	0
M ₉	0	0	0	3	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0

M₉ işaretlemesinden sonra model tekrar başlangıç durumuna (M₀) geçecektir.

Denklem 5.2’de, Şekil 5.19’da yer alan petri ağına ait değişim olay matrisi yer almaktadır.

$$\begin{bmatrix}
 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 1 & 1 & 1 & 1 & 1 & 1 & 0 & 1 & 1 & 0 & 0 & 1 & 1 & 0 & 1 & -1 \\
 1 & 1 & 0 & 0 & -1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\
 1 & 1 & 0 & 0 & 0 & -1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\
 1 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & -1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\
 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & -1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\
 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & -1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\
 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & -1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\
 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & -2 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\
 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & -1 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\
 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & -1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\
 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & -1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\
 -6 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\
 0 & 1 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & -1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\
 0 & -4 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\
 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & -1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\
 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & -1 & 0 & 0 & 0 & 0 \\
 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & -1 & 0 & 0 & 0 \\
 0 & 0 & -6 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 2 & 0 & 0 \\
 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & -1 & 0 & 0 \\
 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & -1 & 0 & 0 \\
 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & -1 & 0 \\
 0 & 0 & 0 & -3 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1
 \end{bmatrix} \quad (5.2)$$

INA programı ile elde edilen işaretlemelerin Denklem (2.4) ile sağlanması yapılabilir. Çizelge 5.16’da yer alan işaretlemeler için Çizelge 5.17’de verilen ateşleme dizileri kullanılacaktır. Söz konusu ateşleme dizileri, oluşturulan petri ağının tasarlanan çalışmasına uygun olarak belirlenmiştir.

Çizelge 5.17 : Ateşleme dizileri.

İlk İşaretleme	Ateşleme Dizisi	Elde Edilecek İşaretleme
M_0	$u=[1\ 0\ 0\ 0\ 0\ 0\ 0\ 0\ 0\ 0\ 0\ 0\ 0\ 0\ 0\ 0\ 0\ 0\ 0\ 0]^T$	M_1
M_1	$u=[0\ 1\ 1\ 1\ 1\ 1\ 1\ 0\ 1\ 1\ 1\ 0\ 0\ 0\ 0\ 1\ 1\ 0\ 0\ 0\ 1\ 0]^T$	M_2
M_2	$u=[0\ 0\ 0\ 0\ 0\ 0\ 0\ 0\ 0\ 0\ 0\ 0\ 1\ 0\ 0\ 0\ 0\ 0\ 0\ 0\ 0\ 0]^T$	M_3
M_3	$u=[0\ 0\ 0\ 0\ 0\ 0\ 0\ 0\ 0\ 0\ 0\ 0\ 0\ 1\ 0\ 0\ 0\ 0\ 0\ 0\ 0\ 0]^T$	M_4
M_4	$u=[0\ 0\ 0\ 0\ 0\ 0\ 0\ 0\ 0\ 0\ 0\ 0\ 0\ 0\ 1\ 0\ 0\ 0\ 0\ 0\ 0\ 0]^T$	M_5
M_5	$u=[0\ 0\ 0\ 0\ 0\ 0\ 0\ 0\ 0\ 0\ 0\ 0\ 0\ 0\ 0\ 1\ 0\ 0\ 0\ 0\ 0\ 0]^T$	M_6
M_6	$u=[0\ 0\ 0\ 0\ 0\ 0\ 0\ 0\ 0\ 0\ 0\ 0\ 0\ 0\ 0\ 0\ 1\ 0\ 0\ 0\ 0\ 0]^T$	M_7
M_7	$u=[0\ 0\ 0\ 0\ 0\ 0\ 0\ 0\ 0\ 0\ 0\ 0\ 0\ 0\ 0\ 0\ 0\ 1\ 1\ 0\ 0]^T$	M_8
M_8	$u=[0\ 0\ 0\ 0\ 0\ 0\ 0\ 1\ 0\ 0\ 0\ 0\ 0\ 0\ 0\ 0\ 0\ 0\ 0\ 0\ 0\ 0]^T$	M_9
M_9	$u=[0\ 1]^T$	M_0

Çizelge 5.17’de yer alan ateşleme dizileri, M_0 başlangıç işaretlemeinden başlanarak Denklem (2.4)’te kullanıldığında elde edilen işaretlemelemlerin INA programından elde edilenlerle aynı olduğu tespit edilmiş ve sonuçların doğruluğu teyit edilmiştir.

6. SONUÇLAR VE ÖNERİLER

Bu çalışmada petri ağları ve özellikleri incelenmiş, örnekler verilerek petri ağı yapıları hakkında genel bilgiler verilmiştir. Petri ağlarının analiz yöntemleri ele alınmış, sürekli ve hibrit petri ağı kavramlarından ve özelliklerinden söz edilmiştir. Tarımsal yönetim süreçlerinden bahsedilmiş, zirai işlemlerin temel özelliklerine ve endüstriyel süreçlerden farklılıklarına değinilmiştir. Literatürdeki tarımsal yönetim görevlerine yönelik petri ağlarının kullanıldığı çalışmalardan söz edilmiştir. Tarımsal faaliyetlerin kendine özgü özellikleri dikkate alınarak bu hususlar petri ağları ile ilişkilendirilmiştir. Tarımsal faaliyetlerde, sürekli ve ayrık etkenlerden dolayı her iki özelliği de barındıran hibrit petri ağlarının tarımsal yönetim süreçlerinin modellenmesindeki avantajları vurgulanmıştır. Elde edilen bağlantılardan yola çıkılarak tarımsal yönetim görevleri için petri ağları ile modeller geliştirilmiştir. Geliştirilen modeller için açıklamalara ve örneklerle yer verilerek modellerin kullanımı anlatılmıştır. Tarımsal yönetim görevleri kapsamındaki süreçler için, geliştirilen bu modeller kullanılabilecektir.

İlerideki çalışmalarda tarımsal yönetim görevleri için ayrı ayrı geliştirilen modeller tek bir çatı altında birleştirilerek, tüm süreçleri kapsayacak şekilde ve süreç aşamalarının takibine olanak sağlayan bir petri ağı modeli geliştirilebilir. Geliştirilecek model ile, farklı yönetim görevleri için birbirleriyle ilişkili süreçler arasındaki bağıntılar tanımlanarak, süreçleri etkileyen herhangi bir değişimin tarımsal yönetim fonksiyonunun tamamına olan etkisi tespit edilebilir. Ayrıca modelin tasarım özelliklerine bağlı olarak herhangi bir etkendeki değişimin, her bir yönetim görevi için meydana getirebileceği etkileroluşturulan tek model içerisinde de yansıtılabilir. Böylece, sadece tüm yönetim sürecinin değil, tarımsal yönetim görev çeşitleri ile ayrılan, farklı süreçlerdeki değişimler de gözlemlenebilir ve değerlendirilebilir. Bu maksatla, performans değerlendirme aşamasında ilgili bağlantılar tanımlanarak, tüm sistemin değerlendirilmesinin yanı sıra, modeller birleştirilmesine rağmen her bir yönetim görevi için ayrı ayrı değerlendirme yapılabilir.

Literatürdeki tarımsal yönetim görevlerine yönelik çalışmalar incelendiğinde, çeşitli optimizasyon yöntemleri ile iyileştirmeler yapıldığı göze çarpmaktadır. Gelecekteki çalışmalarda, optimizasyon yöntemleri ile petri ağı modelleri birlikte kullanılarak, tarımsal süreçlerin modellenmesi yapılırken optimizasyon işlemi de bir taraftan gerçekleştirilebilir. Bu aşamada petri ağı yapısı optimizasyon için ihtiyaç duyulabilecek verilerin elde edilmesinde kullanılabilir. Daha ileri seviyede ise zirai yönetim görevlerinin aynı petri ağı modeli ile sergilendiği bir model oluşturularak, optimizasyon işlemi bu modelle birlikte yürütülebilir.

KAYNAKLAR

- [1] **Url-1** <http://en.wikipedia.org/wiki/Carl_Adam_Petri>, alındığı tarih: 09.03.2015.
- [2] **Guan, S., Matsuda, H., Shikanai, T., Nakamura, M.,** (2006). Petri nets Modeling and Scheduling For Farm Work Planning. In Proceedings of the International Technical Conference on Circuits/Systems, Computers and Communications, vol. II, pp. 465–468.
- [3] **Guan, S., Nakamura, M., Shikanai, T., & Okazaki, T.** (2008). Hybrid Petri Nets Modeling For Farm Work Flow. Computers and Electronics in Agriculture, 62, 149e158.
- [4] **Guan, S., Nakamura, M., Shikanai, T., & Okazaki, T.** (2009). Resource Assignment And Scheduling Based On A Two-Phase Metaheuristic For Cropping System. Computers and Electronics in Agriculture, 66, 181e190.
- [5] **Bochtis, D.D., Sorensen, C.G.C, Busato, P.,** (2014). Advances in Agricultural Machinery Management: A Review, Biosystems Engineering 126, 69-81
- [6] **ASAE S495.1.** (2005). Uniform Terminology For Agricultural Machinery. MI, USA: American Society of Agricultural and Biological Engineers.
- [7] **Sørensen, C., Pesonen, L., Fountas, S., Suomi, P., Bochtis, D., Bildsøe, P., et al.** (2010). A User-centric Approach For Information Modelling in Arable Farming. Computers and Electronics in Agriculture, 73, 44e45.
- [8] **ASAE EP496.3.** (2006). Agricultural Machinery Management. MI, USA: American Society of Agricultural and Biological Engineers.
- [9] **ASABE Standards.** (1974). Engineering Practices and Data Developed and Adopted by the American Society of Agricultural Engineers. MI, USA: ASAE.
- [10] **Van Elderen, E.** (1980). Scheduling Farm Operations. European Journal of Operational Research, 4(1), 19e23.
- [11] **Bochtis, D. D., & Sørensen, C. G.** (2009). The Vehicle Routing Problem in Field Logistics Part I. Biosystems Engineering, 104, 447e457.
- [12] **David, R, and Alla, H.,** (2010). Discrete, Continuous and Hybrid Petri Nets, Springer-Verlag.
- [13] **Murata, T.,** (1989). Petri Nets: Properties, Analysis and Applications, Proceedings of The IEEE, Vol.77, No.4.

- [14] **Zurawski, R., and Zhou, M. C.** (1994). Petri Nets and Industrial Applications: A Tutorial, IEEE Transactions On Industrial Electronics, Vol.41, No.6.
- [15] **Cassandras, C. G., and Lafortune, S.,** (2008). Introduction to Discrete Event Systems, Springer Science+Business Media, New York.
- [16] **de Toro, A., Gunnarsson, C., Lundin, G., & Jonsson, N.,** (2012). Cereal Harvesting - Strategies and Costs Under Variable Weather Conditions. Biosystems Engineering, III, 429e439.
- [17] **Buckmaster, D. R., & Hilton, J. W.,** (2005). Computerized Cycle Analysis of Harvest, Transport, and Unload Systems. Computers and Electronics in Agriculture, 47, 137e147.
- [18] **Sørensen, C. G., Halberg, N., Oudshoorn, F. W., Petersen, B. M., & Dalgaard, R.,** (2014). Energy Inputs and GHG Emissions of Tillage Systems. Biosystems Engineering, 120, 2e14.
- [19] **Sadrieh, S.A., Ghaeli, M., Bahri, P.A., Lee, P.L.,** (2007). An Integrated Petri Nets and GA Based Approach for Scheduling of Hybrid Plants. Comput. Ind. 58, 519–530.
- [20] **Foulds, L., & Wilson, J.,** (2005). Scheduling Operations For The Harvesting Of Renewable Resources. Journal of Food Engineering, 70, 281e292.
- [21] **Basnet, C. B., Foulds, L. R., & Wilson, J. M.,** (2006). Scheduling Contractors' Farm-To-Farm Crop Harvesting Operations. International Transactions in Operational Research, 13, 1e15.
- [22] **Bochtis, D. D., Sørensen, C. G., Busato, P., & Berruto, R.,** (2013). Benefits From Optimal Route Planning Based On B-Patterns. Biosystems Engineering, 115(4), 389.
- [23] **Orfanou, A., Busato, P., Bochtis, D. D., Edwards, G., Pavlou, D., Sørensen, C. G., et al.,** (2013). Scheduling for Machinery Fleets in Biomass Multiple-Field Operations. Computers and Electronics in Agriculture, 94, 12e19.
- [24] **Hameed, I., Bochtis, D., Sørensen, S., & Nøremark, M.,** (2010). Automated Generation of Guidance Lines for Operational. Biosystems Engineering, 107, 294e306.
- [25] **Hameed, I., Bochtis, D., Sørensen, C., Jensen, A., & Larsen, R.,** (2013). Optimized Driving Direction Based on A Threedimensional Field Representation. Computers and Electronics in Agriculture, 91, 145e153.
- [26] **Spekken, M., & de Bruin, S.,** (2013). Optimized Routing On Agricultural Fields By Minimizing Maneuvering And Servicing Time. Precision Agriculture, 14, 224e244.

ÖZGEÇMİŞ



Ad Soyad: Ayhan ÖZGÜN
Doğum Yeri ve Tarihi: İslahiye/Gaziantep, 15.07.1987
Adres: Yeniköy Mah., Sarıyer/İstanbul
E-Posta: ozgunayh@itu.edu.tr
Lisans: Deniz Harp Okulu Elektrik/Elektronik Mühendisliği, 2009