

İSTANBUL TEKNİK ÜNİVERSİTESİ * FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

39606

OLASILIKLI ŞEBEKE ANALİZİNİN GEMİ İNŞAATINA TATBİKİ

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Müh. Aykut İbrahim ÖLÇER

Tezin Enstitüye Verildiği Tarih : 24 Ocak 1994

Tezin Savunulduğu Tarih : 7 Şubat 1994

Tez Danışmanı : Prof. Dr. A. Yücel ODABAŞI

Diğer Jüri Üyeleri : Prof. Dr. Ferhat KÜÇÜK

Doç. Dr. Aydın ŞALCI

ŞUBAT 1994

ÖNSÖZ

Tez çalışmalarım sırasında bana bilgi ve deneyimini aktarmak suretiyle her türlü yardımı esirgemeyerek beni yönlendiren çok değerli hocam ve danışmanım Sayın Prof. Dr. A. Yücel ODABAŞI'na, beraber çalıştığımız projeler itibariyle çok yardımını gördüğüm sevgili arkadaşım Y. Müh. Selim ALKANER'e, tez yazımı, düzenlemesi ve şekillerle tabloların oluşturulmasında büyük yardımları geçen sevgili kuzenim Müh. Hakan TEK'e ve değerli arkadaşlarım Y. Müh. Osman ALİEFENDİOĞLU'na ve Y. Müh. Hakan ARSLAN'a, Yüksek Lisans öğrenimim boyunca burs vermek suretiyle bana maddi destek sağlayan Türkiye Gemi Sanayii A.Ş. ve TÜBİTAK'a, maddi ve manevi desteğini bugüne kadar sürdüren başta çok sevgili babam Esat ÖLÇER olmak üzere tüm aile mensuplarına minnet ve şükranlarımı sunarım.

Aykut İbrahim ÖLÇER

İÇİNDEKİLER

ÖZET	v
SUMMARY	vi
BÖLÜM 1.GİRİŞ	1
BÖLÜM 2. PROJE YÖNETİMİ VE ŞEBEKE ANALİZİ YÖNTEMLERİ	3
2.1. Projelerin planlanması ve proje programlanması	3
2.2. Şebeke planları	4
2.3. Şebeke analizi yöntemleri	5
2.3.1. Stokastik şebeke planları	8
2.3.2. Stokastik şebeke planlarının bileşenleri	8
2.4. Yöntemlerin karşılaştırılması	9
BÖLÜM 3. GERT YÖNTEMİ	11
3.1. GERT prosedürünün adımları	11
3.1.1. Problemin formülasyonu ve data toplanması	13
3.1.2. Stokastik şebeke analizi	15
3.1.2.1. EXOR düğümleri	15
3.1.2.2. AND ve INCOR düğümleri	21
3.1.3. Şebekenin gözden geçirilmesi ve değerlendirme	24
3.2. GERT yönteminin bir uygulaması	25
BÖLÜM 4. PNET YÖNTEMİ	28
4.1. Proje tamamlanma zamanı olasılığı	29
4.1.1. Şebeke yolları ve onlarla ilgili olasılıklar	29
4.1.2. Ferdi yollar	30
4.2. Sınırlar ve yaklaşıklamalar	31
4.2.1. Tamamlanma zamanı olasılığının sınırları	31
4.3. PNET	33
4.3.1. PNET yönteminin temeli	33
4.3.2. PNET yönteminin algoritması	34
4.4. PNET yönteminin asfaltlama projesine uygulanması	35
BÖLÜM 5. GERT VE PNET YÖNTEMLERİNİN GEMİ İNŞAATINA UYGULAMASINA BİR ÖRNEK	40
5.1. Çift dip imalatında yapılan kabuller	45

5.2. Projeye ait GERT ve PNET modellerinin kurulması	56
5.2.1. Profil hazırlama safhası	56
5.2.2. Levha hazırlama safhası	59
5.2.3. Panel hattı safhası	60
5.2.4. Matris yapı imalatı safhası	62
5.2.5. Montaj (fabrikasyon) safhası	64
5.3. Sonuçlar ve değerlendirme	65
SONUÇLAR ve ÖNERİLER	81
KAYNAKLAR	83
EKLER	85
ÖZGEÇMİŞ	108



ÖZET

Özellikle gemi inşaatında projeleri planlamak ve programlamak zordur. Günümüzde bu zorluğu gidermek için çeşitli yöntemler kullanılmaktadır. Bu yöntemlerden en fazla kullanılan ve en etkili olanları şebeke analizi yöntemleridir.

Gemi inşaatında aktivite sürelerini etkileyen fakat önceden tahmin edilemeyen hava koşulları, kaynak kullanımı vs. gibi faktörler vardır. Bu durum belirsizlikler altında karar verme problemlerine ve olasılıklı şebeke analizi yöntemlerine ilgiyi arttırmıştır.

Bu çalışmada kullanılan olasılıklı şebeke analizi yöntemleri GERT(Graphical Evaluation and Review Technique) ve PNET(Probabilistic Network Evaluation Technique) yöntemleridir. Gert yöntemi istatistiki bir proses, PNET yöntemiye stokastik bir prostir. Her iki yöntem de sonuçta bize olasılıklı proje tamamlanma zamanı değeri vermiştir.

Çift dip imalatında üretim aşamalarının gerçeği yansıtacak detay seviyesinde modellenmesi ve bu modellere olasılıklı şebeke analizi yöntemlerinin uygulanması çalışmanın adımlarıdır. Yapılan modelleme, çift dip imalatının profil ile levha hazırlama kademeleriyle panel hattı, matris yapı imalatı ve bunların montajı safhalarını içerir.

Çalışmanın sonucunda, GERT yönteminin PNET yöntemine göre daha kötümser sonuçlar verdiği, buna karşın GERT yönteminin üretim hattındaki kritik noktaları ortaya çıkardığı görülmüştür. Ayrıca PNET yönteminde %70,%80,%90 ve %99.87 proje tamamlanma zamanı olasılığı değerleri için sonuçlar incelenmiştir.

SUMMARY

APPLICATION OF STOCHASTIC NETWORK ANALYSIS IN SHIP PRODUCTION

The task of managing major projects is an ancient and honorable art. In about 2600 B.C., the Egyptians built the Great Pyramid for King Khufu. The Greek historian Herodotus claimed that 400 000 men worked for 20 years to build this structure. Although these figures are now in doubt, there is no question about the enormity of the project. Modern projects ranging from building a suburban shopping center to putting a man on the moon are amazingly large, complex, and costly. Completing such projects on time and within the budget is not an easy task [13].

Organizational activity networks are useful in the planning and scheduling of projects, including construction, maintenance and repair, and research and development [9]. Networks and network analyses are playing an increasingly important role in the description and improvement of operational systems primarily because of the ease with which systems can be modeled in network form. This growth in the use of networks can be attributed to [6] :

1. The ability to model complex systems by compounding simple systems.
2. The mechanistic procedure for obtaining system figure-of-merits from networks.
3. The need for a communication mechanism to discuss the operational system in terms of its significant features.
4. A means for specifying the data requirements for analysis of the system.
5. A starting point for analysis and scheduling of the operational system.

Network analysis is a useful managerial technique which can be used to predict or identify the performance of any subsystem for the purpose of design, coordination, and/or control. There are many forms of network analysis: some are simple, and others are complex; some are generalized, while others have been designed for specific types of projects [5].

Most analytical techniques are deterministic. That is, they do not specifically incorporate probabilistic events or occurrences in their solutions. The most commonly used method is the well-known critical-path method (CPM). Critical path method is common to all network techniques. CPM was developed in 1957 by J.E. Kelly of Remington Rand and M.R. Walker of Du

Pont [13]. The CPM is based on the assumption that the durations of the activities in a project network are deterministic; accordingly, the project duration estimated with CPM would naturally also be deterministic [9].

Methods such as PERT (Program evaluation and review technique) consider the activity durations as random variables; however, the required project duration is usually determined solely on the basis of the mean critical path (i.e., the network path with the longest expected time) [9]. PERT was developed in the late 1950s by the Navy Special Projects Office in cooperation with the management consulting firm of Booz, Allen, and Hamilton [13].

Management science techniques are intended to provide a rational, scientific approach or solution for managers. But the real-world manager deals with risk; the manager must be able to account for, deal with, and accept the fact that nothing is absolutely certain. We live in a stochastic world. Uncertainties in material and component delivery as well as fabrication, assembly, and erection process times make it difficult to effectively use traditional CPM, PERT, and similar methods for shipbuilding project management [7].

GERT (GRAPHICAL EVALUATION AND REVIEW TECHNIQUE)

GERT(Graphical Evaluation and Review Technique) is a technique for the analysis of stochastic networks. Stochastic networks have the following characteristics [6]:

1. Each network consists of nodes denoting logical operations and directed branches.
2. A branch has associated with it a probability that the activity represented by the network will be performed.
3. Other parameters describe the activities which the branches represent. These parameters may be additive such as time or multiplicative such as reliability.
4. A realization of a network is a particular set of branches and nodes which describes the network for one experiment.
5. If the time associated with a branch is a random variable, then a realization also implies that a fixed time has been selected for each branch.

The GERT approach to problem solving utilizes the following steps:

1. Convert a qualitative description of a system or problem to a model in stochastic network form.
2. Collect the necessary data to describe the branches of the network.
3. Determine the equivalent function or functions of the network.
4. Convert the equivalent function into the following two performance measures of the network.:

The probability that a specific node is realized.

The moment generating function of the time associated with an equivalent network.

5. Make inferences concerning the system under study from the information obtained in 4 above.

The components of stochastic networks are directed branches(arcs, edges, transmittances) and logical nodes(vertices). A directed branch is associated with two nodes: One from which it emanates and one at which it terminates. Two parameters are associated with the branch:

1. The probability that a branch is taken, p_a , given that the node from which it emanated is realized.

2. A time, t_a , required, if the branch is taken, to accomplish the activity which the branch represents.

Generalization to permit a vector of parameters presents no conceptual difficulty as long as the components of the vector are independent. Further, t_a can be a random variable. If the branch is not part of the realization of the network then the time for the activity represented by the branch is zero.

A node in a stochastic network consists of an input(receiving, contributive) function and an output(emitting, distributive) function. For GERT, three logical relations on the input side and two types of relations on the output side are considered. This yields six types of nodes which are described in table 1.

Exclusive-or(EXOR) : The realization of any branch leading into the node causes the node to be realized; however, one and only one of the branches leading into this node can be realized at a given time.

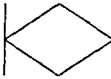
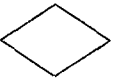
Inclusive-or(INCOR) : The realization of any branch leading into the node causes the node to be realized. The time of realization is the smallest of the completion times of the activities leading into the INCOR node.

And(AND) : The node will be realized only if all the branches leading into the node are realized. The time of realization is the largest of the completion times of the activities leading into the AND node.

Deterministic : All branches emanating from the node are taken if the node is realized, that is, all branches emanating from this node have a p-parameter equal to one.

Probabilistic : At most one branch emanating from the node is taken if the node is realized.

Table 1. Node characteristics and symbols

INPUT \ OUTPUT	INPUT	EXOR	INCOR	AND
				
 DETERMINISTIC				
 PROBABILISTIC				

PNET (PROBABILISTIC NETWORK EVALUATION TECHNIQUE)

PNET is a simple method for evaluating the completion-time probabilities of project networks. The method can be used to estimate completion times of projects in the presence of uncertainty; and thus permit the consideration of network decision problems in terms of risk and probability. In contrast to the methods of PERT and CPM where only the critical path is considered, PNET includes all possible paths in a network; despite these, however, the PNET algorithm is conceptually as simple to apply as PERT, requiring calculation of the individual path probabilities only, and can be easily programmed for computer processing.

Under certain conditions, the PNET method is theoretically exact. This method should provide a convenient and effective tool for evaluating activity networks under uncertainty and it yields the probability of project completion within a prescribed target time, or the required project time at a prescribed probability.

Basis of PNET method

The PNET method is based on the following observations:

1. The paths with long mean durations and high coefficients of variation will have the greatest significance on $p(t)$,
2. If several paths are each highly correlated with a major path, then these paths are represented by the same major path, the completion-time probability associated with these several paths is represented approximately by that of this major path alone, and

3. On the other hand, if several paths have low mutual correlations, the completion-time probability associated these paths can be approximated with the product of respective path probabilities.

Therefore, on the basis of these observations, if all the major paths in a network can be divided into subgroups in accordance with their correlations, such that within each subgroup the paths are highly correlated and thus are represented by one path, whereas between the representative paths the mutual correlations are low, then the completion-time probability of the project would be given approximately as the product of the completion-time probabilities of the individual representative paths. This can indeed be done conveniently for any network, resulting in the following PNET algorithm for determining the project completion-time probability, $p(t)$.

PNET algorithm

1. Generate the major paths sequentially in order of decreasing mean path durations, starting with the mean critical path, π_1 . This process may be done systematically and formally. The major paths may be limited to those whose mean path durations are at least a certain percentage of the mean critical path duration.
2. Evaluate the standard deviations for each of the major paths.
3. Identify the representative paths as follows. Calculate the correlations ρ_{1i} between the critical path, π_1 , and each of the major paths, π_i . Those paths with $\rho_{1i} > 0.5$ (assuming that $\rho = 0.5$ represents the transition between high and low correlation) are represented by π_1 . For those paths with $\rho_{1i} \leq 0.5$, consider these to be a subset of paths (π_j ; $j = 1, 2, \dots, k$) and designate the path within this subset with the longest mean duration to be π_{II} . Calculate the correlations ρ_{IIj} between π_{II} and π_j within this subset. Again, those paths among π_j with $\rho_{IIj} > 0.5$ are represented by π_{II} , whereas for those paths with $\rho_{IIj} \leq 0.5$ the procedure is repeated to determine the subsequent representative paths. The process then leads to the set of representative paths, $\pi_1, \pi_{II}, \dots, \pi_N$.
4. Calculate the probability of the representative paths, $P(T_1 \leq t), P(T_{II} \leq t), \dots, P(T_N \leq t)$, assuming a convenient probability distribution for $T_1, T_2, \dots, T_N$ and using the mean and variance evaluated in steps 1 and 2.

The project completion-time probability, $p(t)$, then is given approximately by the product $p(t) \cong P(T_1 \leq t) \cdot P(T_{II} \leq t) \cdot \dots \cdot P(T_N \leq t)$. It can be observed that if all the major paths are highly correlated with π_1 , then $p(t)$ becomes $p(t) \cong P(T_1 \leq t)$ and thus the PNET method reduces to the PERT method. PNET method is independent of the distribution function.

Application of GERT and PNET in ship production

Analysis of ship production that is too complex to be effectively modeled systems require a model that represents every important step of the real life system. A model has been built for fabrication of a double bottom assembly. This model includes five shops. These are profile preparation, plate preparation, matrix structures, panel line and fabrication shops. GERT method has given us more pessimistic values than PNET method. However, GERT has shown the critical points in production line. On the other hand, project completion time has been analyzed in terms of %70, %80, %90 ve %99.87 completion time probabilities by PNET method.



BÖLÜM 1. GİRİŞ

Günümüzde proje yönetimi özellikle gemii inşaatında gittikçe daha fazla önem kazanmaktadır. Bu amaçla geliştirilmiş birçok yöntem mevcuttur. Bunlardan en fazla kullanılanları şebeke analizi yöntemleridir. Bu derece sık kullanılan şebeke analizi yöntemlerinin faydaları şu şekilde özetlenebilir:

1. Projenin birbiriyle ilgili ve birbirine bağlı elemanlarının (aktivitelerinin) detaylı şekilde incelenmesi,
2. Projenin gerçekleşmesi için gerekli olan sürenin gerçeğe yakın tahmini,
3. Bütün aktivitelerinin önceliklerinin tanımlanması gereklidir. Çünkü bir projede, aynı anda yerine getirilen (paralel) ve birbirini takibeden (seri) aktiviteler mevcuttur,
4. Projenin hızlandırılması veya yavaşlatılması gerektiğinde bunların hangi aktivitelerle sağlanabileceğinin saptanması,
5. Her safhada projenin gelişmesinin tanımlanması,
6. Minimum zaman veya maliyetle proje amaçlarının gerçekleştirilmesi,
7. Projede yapılacak değişikliklerin zaman ve maliyet açısından etkilerini tahmin etme imkanı sağlar.

Bölüm 2'de proje yönetimi, proje planlanması ve proje programlanması kavramlarına genel bir bakış yapılarak şebeke analizi yöntemlerine değinilmektedir. Belli başlı şebeke analizi yöntemlerinden bahsedilerek bunların gelişimi, yaygın şekilde kullanılma gerekçeleri ve kısaca deterministik yöntemlerle stokastik yöntemlerin mukayeseleri verilmektedir.

Bölüm 3'de GERT yöntemi anlatılmaktadır. GERT yönteminin adımları, GERT şebekelerinin kurulma esasları detaylı olarak incelenmektedir. Ayrıca yöntemin daha iyi anlaşılması amacıyla bölümün sonunda gemi onarımına uygulanması bir örnek olarak verilmektedir.

Bölüm 4'de PNET yöntemi incelenerek yöntemin temeli ve algoritması verilmektedir. Bu yöntem için de bir örnek olarak asfaltlama projesi verilmektedir.

Bölüm 5'de her iki yöntemin çift dip imalatına uygulanması gösterilmektedir. Çift dip imalatı projesinin mantığı ve öncelik diyagramı ile projeye ait GERT ve PNET modellerinin kurulması bölümün alt başlıklarıdır. Bölümün sonunda her iki yöntemden elde edilen sonuçlar verilmektedir. Bu bölümle ilgili ayrıntılı hesaplar ek B'de gösterilmektedir.



BÖLÜM 2. PROJE YÖNETİMİ VE ŞEBEKE ANALİZİ YÖNTEMLERİ

Bir proje müdürü (PM), projeyi kontrol edebilmek için zaman, maliyet artışı ve maliyet performansını sadece tüm proje için değil aynı zamanda aktiviteler içinde bilmek zorundadır. Fakat bu, onun karşılaştığı problemin sadece bir parçasıdır. O aynı zamanda, sorunların nerede ve hangi seviyede çıkacağını kestirmek durumundadır [1]. Yani projeyi kontrol etmek zorundadır.

Bazı problemlerin veya proseslerin matematik veya istatistik yöntemlerle kolay anlaşılır açık(explicit) modellerinin kurulması şimdilik olanaksız veya böyle bir model için uğraşmak ekonomik görülmemektedir. Bu gibi problemlerden birisi, projelerin planlanması ve kontrolüdür. Çeşitli işlemlerin birbirine paralel olarak veya bazılarının birbirini izleyerek bütün bir projeyi meydana getirmesi halinde planlama önem kazanmaktadır [2].

2.1. Projelerin planlanması ve programlanması

Proje kontrolü proje planlamasıyla başlar. Çünkü proje planlaması, uygun kontrol prosedürleri ve mekanizmalarının gelişiminde anahtar rolü oynar. Bir proje planlaması tüm aktiviteleri içerir. Herhangi bir proje planlamasında projenin amaçları, aktarılması gereken kaynaklar, tamamlanma zamanları ve aktiviteler belirlenmeli ve öncelik sırası oluşturulmalıdır. Sorumluluk alanları belirlenip atanmalar yapılmalıdır. Aktiviteleri gerçekleştirmek için zaman ve kaynak gereksinimleri önceden tahmin edilmeli ve bütçelendirilmelidir [3].

Proje programlamasıysa, proje planlamasının aksine daha spesifikdir. Proje programlaması, projenin çeşitli safhalarının öncelik sıralarını ve zamanlarını belirler. Proje programlamasında PM bitmesi gereken görevleri ve projenin tüm aktivitelerini düşünür. Aynı zamanda bu aktiviteleri birbiriyle ve takvimle ilişkilendirir [3].

Proje programlaması tekniklerinden en önemlileri, Gantt charts, WBS(Work Breakdown Structure) ve şebeke analizi yöntemleridir.

Üretim faaliyetlerinde mamulün elde edilmesi genellikle birçok parçaların imali veya satın alınması ve bunların biraraya getirilerek, montajından meydana gelmektedir. Bir ürünü meydana getirmek için gerekli parçaların üretiminde, öngörülen sıraya veya programa uyulmadığı takdirde parça yığılmalarına veya montaj gecikmelerine neden olunacağı bir gerçektir.

Etkin bir üretim akış programı bu gecikme ve yığılmaları önleyecek ve ürün üretimi, öngörülen süre içinde gerçekleştirilebilecektir. Bu akış programı her parçanın üretimine ne zaman başlanılacağını ve ne zaman bitirileceğini tarih olarak belirlediğinden, gecikmeler derhal tespit edilecek ve önleyici tedbirler alınabilecektir [4].

Üretim akış programı temelinde bir programın gerçekleşme planının şebeke planı gösterimi bulunur.

2.2. Şebeke planları

Şebeke analizinde, projenin her elemanının bir matematiksel modeli vardır. Dolayısıyla şebeke analizi bir matematik modeller zinciri oluşturur.

Şebeke planlaması, projenin analitik analizi kadar kolay anlaşılabilir, elemanter işlemler ve olaylar arasındaki ilişkiyi zaman ve maliyet faktörlerini de hesaba katarak gösterebilecek grafiksel modelin ortaya konmasını ifade eder. Bu amaç için geliştirilmiş şebeke planları (grafiksel model) göze hitabetmekte ve açık matematik modeller gibi soyut modellere nazaran anlaşılması ve açıklaması daha kolay olmaktadır. Ayrıca şebekede duyarlık analizi yapmak, simülasyon yapmak da daha kolay ve süratli olabilmektedir. Şebeke planı, projenin tamamlanmasına yönelik proje elemanları arasındaki öncelik ilişkilerini gösterir.

Şebeke planı, projenin planlaması aşamasında geliştirilir. Maliyet, kaynak ve süreler bu aşamada dikkate alınmaz. Projenin her elemanı ile ilgili üç soru yöneltilir [5]:

- a) Bu proje elemanının hemen öncesinde ne yapılmalıdır?

- b) Bu proje elemanı ile paralel olarak ne yapılabilir?
- c) Bu proje elemanından hemen sonra ne yapılacaktır?

Bu sorular cevaplandırıldıktan sonra projenin mantığı ortaya çıkar ve şebeke planının çizimine geçilir. Şebekeler genel olarak düğümler ve dallardan oluşur. Düğümler aktivitenin bitiş veya başlangıcını, dallar ise aktiviteleri sembolize eder.

Projenin şebeke planı çıkarıldıktan sonra herhangi bir şebeke analizi yöntemi uygulanabilir. Şebeke analizi yöntemleri projenin programlaması aşamasında geliştirilir.

2.3. Şebeke analizi yöntemleri

Günümüzde şebeke planları ve şebeke analizi yöntemleri, operasyonel sistemlerin gelişiminde ve tanımlanmasında artan bir şekilde önemli rol oynamaktadır. Aslında bu, yukarıda da bahsedildiği üzere sistemlerin şebeke formunda modellenmesi kolaylığından kaynaklanmaktadır. Şebeke analizi kullanımındaki bu gelişme aşağıdaki beş maddeye dayandırılabilir [6].

- a) Basit sistemlerin birleştirilmesi suretiyle kompleks sistemlerin modellenebilme yeteneği.
- b) Modellenen sistem şebekelerinden, değerlerin gözlenmesi için oluşturulmuş mekanik prosedür.
- c) Operasyonel sistemin özellikleri bakımından tartışılması için bir haberleşme mekanizmasının gerekliliği.
- d) Sistemin analizi için gerekli dataların belirlenmesinde bir vasıta.
- e) Operasyonel sistemin analizi ve programlanması için bir başlangıç noktası [7].

Şebeke analizi yöntemlerinin herhangi bir şebeke planına uygulanabilmesi için, şebeke planı oluşturulmuş projenin aşağıda belirtilen özelliklere sahip olması gerekir :

- a) Proje süresince yapılacak tüm aktiviteler detay seviyesinde tanımlanmış olmalıdır.
- b) Yapılacak aktivitelerin başlama ve bitiş zamanları, birbiriyle olan ilişkileri, öncelik sıraları ve yapılma süreleri belirlenmiş olmalıdır.

Ayrıca stokastik şebeke planları için, aktivitelere ait gerçekleşme olasılıkları ve yapıma sürelerine ait istatistiki dağılımlar gibi veri tabanı oluşturulmalıdır.

c) İş ve görevler birbirini izleyecek şekilde sıralanabilmelidir.

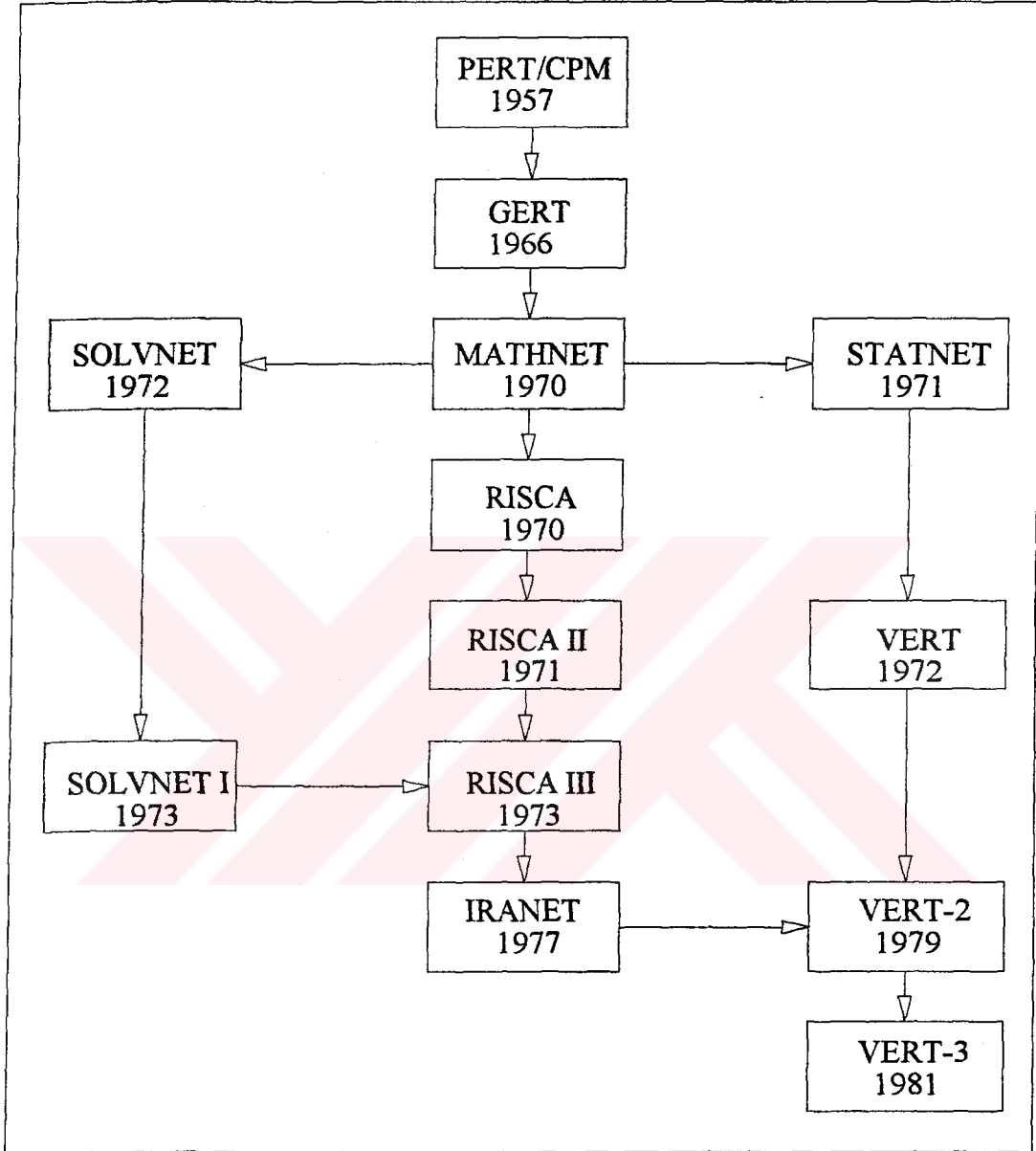
Şebeke analizi yöntemleri genel olarak, deterministik şebeke analizi yöntemleri ve stokastik şebeke analizi yöntemleri olmak üzere ikiye ayrılırlar. Stokastik, kelime manası itibariyle dinamik olasılık demektir. Bu yüzden stokastik şebeke analizi yöntemi yerine olasılıklı şebeke analizi yöntemi terimi de kullanılabilir. Stokastik şebeke analizi yöntemlerinin deterministik şebeke analizi yöntemlerinden ayrılan yönü olasılıklı oluşumlar içermesidir. Stokastik şebeke analizi yöntemlerinin temelinde, aktivitelere ait parametrelerin istatistiki dağılımlara sahip olduğu ve bu aktivitelerin gerçekleşmesinin olasılıklı olduğu kabulü yatar.

Gerek deterministik ve gerekse stokastik şebeke analizi yöntemleri, özellikle günümüzde çok geniş bir kullanım alanına sahiptirler. Bu yöntemlerin yaklaşık 40 sene içerisindeki gelişmesi şekil 2.1'de gösterilmektedir.

Bir diğer mantıkta şebeke analizi yöntemlerini statik, yarı-dinamik ve dinamik şebeke analizi yöntemleri olarak sınıflandırmaktır. Bu sınıflandırmaya göre GERT yöntemi statik, PNET yöntemi yarı-dinamik, simülasyon ise dinamiktir.

Belli başlı şebeke analizi yöntemleri şunlardır: LOB(Line of Balance), MRP(Materials Requirements Planning), NFM(Normalfolgen-Methode), MPM(Metra-Potential-Methode), HMN(Hamburger Methode der Netzplantechnik), BKN(Baukasten-Netzplanverfahren), PPS(Projekt-Planungs-und Steuerungssystem), DNPT(Dynamische Netzplantechnik), PDM(Precedence Diagramming Method), CPM(Critical Path Method), PERT(Program Evaluation Review Technique), PERT/Cost, LESS(Least Cost Estimating and Scheduling), PACT(Production Analysis Control Technique), SPECTRO(Schedule Planning Evaluation Cost and Control), SCANS(Scheduling Control and Automation by Network System), RAMPS(Resource Allocation and Multi-Project Scheduling), GERT(Graphical Evaluation and Review Technique), PNET(Probabilistic Network Evaluation

Technique), VERT(Venture Evaluation and Review Technique), RISCA(Risk Information System Cost Analysis) [5], [8].



Şekil 2.1 Şebeke analizi yöntemlerinin gelişimi

En önemli ve en bilinen deterministik şebeke analizi yöntemleri CPM ve PERT yöntemleridir. CPM yöntemi bir proje şebekesindeki aktivite sürelerinin deterministik olduğu kabulüne dayanır. Haliyle CPM yönteminden beklenen proje süresi de deterministik olacaktır. Bu yöntem, şebeke planında kritik olan yolun(çoğunlukla en uzun olan yol) saptanarak bunun kısaltılması çarelerini arayan bir yöntemdir. PERT ise, aktivite sürelerini rastlantı

değişkenleri olarak düşünür. Bununla birlikte gerekli proje süresi, genellikle beklenen en uzun zamanlı şebeke yoluna dayandırılarak saptanır [9].

Projelerin çoğunda aktivite süreleri daima tahmin edilemez. Hava, kaynak kullanımı, ... vs. gibi kontrol edilemeyen, fakat aktivite sürelerini etkileyen birçok etken vardır. Bu yüzden ki, aktivite süreleri rastlantı değişkenleri olarak modellenmeli, proje zamanı değerlendirmesiye bir olasılıklı şebeke analizi problemi olarak düşünülmelidir [9].

2.3.1. Stokastik şebeke planları

Stokastik şebeke planları genel olarak aşağıdaki karakteristiklere sahiptirler [6].

- Her şebeke planı düğümleri ve dalları içerir. Düğümler mantıksal operasyonları gösterir. Oklarla yönlendirilmiş dallar aktiviteleri temsil eder.
- Her dal bir olasılık değerine sahiptir. Bu olasılık, şebekede temsil edilen aktivitenin yerine getirilme olasılığıdır.
- Diğer parametreler, dalların gösterdiği aktiviteleri tanımlar. Bu parametreler zaman, güvenilirlik, risk veya maliyet parametreleri olabilirler.
- Stokastik şebekenin gerçekleşmesi, dallar ve düğümler setinin kısmi bir parçasıdır.
- Eğer bir dalın zaman parametresi rastlantı değişkeniyse, gerçekleşme her bir dal için sabit bir zaman seçimi demektir.

2.3.2. Stokastik şebeke planlarının bileşenleri

Stokastik şebeke planlarının bileşenleri yönlendirilmiş dallar (branches, arcs, edges, transmittances) ve mantıksal düğümlerdir (nodes, vertices). Yönlendirilmiş bir dal iki düğümlerle birleştirilir. Dal, düğümlerden birinden çıkar diğerine girer. Her dal iki parametreye sahiptir [6]:

- Düğümünden çıkan dalın gerçekleşme olasılığı p_a ,
- Dalın gösterdiği aktivitenin başlanması için gerekli zaman t_a .

Zaman parametresi bir rastlantı değişkeni olabilir. Eğer dal şebeke gerçekleşmesinin bir parçası değilse, dalın temsil ettiği aktivite için gerekli zaman sıfırdır.

Stokastik şebekedeki bir düğüm, bir giriş fonksiyonu bir de çıkış fonksiyonu olmak üzere iki fonksiyon içerir [7].

2.4. Yöntemlerin karşılaştırılması

Deterministik ve stokastik şebeke analizi yöntemlerinden en çok bilinen ve en çok kullanılan yöntemlerin, sırasıyla PERT/CPM ve GERT olduğu söylenmişti. Bu iki yöntemin, bir yönetici için çok önemli olan dokuz kriter yönünden karşılaştırılması tablo 2.1'de verilmektedir [1]. Bu tablo, deterministik ve stokastik şebeke analizi yöntemlerinin detaylı olmasa da birbirlerinden olan farklarını açıkça göstermektedir.

Tablo 2.1 Şebeke analizi yöntemlerinin mukayesesi

KRİTER	PERT/CPM	GERT
Proje safhasına uygulanabilirlik	Dizayn & Gelişme	Kavram, dizayn & Gelişme, üretim
Odak parametresi	Zaman	Zaman, maliyet, risk
Hazırlık gereksinimleri	Orta	Çok iyi
Veri tabanı	Orta	İyi
Operasyonel sistemin maliyeti	Orta	Ortadan fazla
Uygulanabilirlik sahasının genişliği	Yalnızca tek zamanlı aktivitelere	Tek zamanlı + tekrarlamalı
Esneklik	Yalnızca deterministik durumlar için	Stokastik durumlar için
Güncelleştirme	Orta	İyi
Raporlama	Çok iyi	Önemli derecede iyi

Tablo 2.1'deki kriterlerin açıklamaları aşağıda verilmektedir.

- 1) **Proje safhasına uygulanabilirlik :** Üretim esnasında, yöntemin etkili uygulanabilirlik sunduğu proje sahaları.
- 2) **Odak parametresi :** Karar vermede, yöntemin planlama ve/veya kontrol bilgisi vermesi için seçilen parametre.
- 3) **Hazırlık gereksinimleri :** Yöntemin yerine getirilmesi için gerekli zaman miktarı, efor ve kaynaklar. Bunun içine şebeke hazırlığı, zaman tahmini ve diğer giriş hazırlıkları dahildir.
- 4) **Veri tabanı :** Sistemin işlemesi için gerekli veri tabanı genişliği.
- 5) **Operasyonel sistemin maliyeti :** Yararlanılan yöntemin maliyetleri (zaman ve analitik efor gibi).
- 6) **Uygulanabilirlik sahasının genişliği :** Yöntemin çeşitli tipteki aktivitelere uygulanabilirliğinin genişliği.
- 7) **Esneklik :** Proje sırasında oluşan çeşitli tipteki durumları idare etme kabiliyeti.
- 8) **Güncelleştirme :** Değişen koşulların zaman, efor ve kaynaklara yansımaları.
- 9) **Raporlama :** Yöntemin kritik durumları müdüre raporlama kabiliyeti.

BÖLÜM 3. GERT YÖNTEMİ

Belki de en iyi bilinen ve en fazla kullanılan stokastik şebeke analizi yöntemi GERT (Graphical Evaluation and Review Technique) yöntemidir. Bu yöntemin temelleri ilk olarak A. Alan B. Pritsker ve Gary E. Whitehouse adındaki bilim adamları tarafından 1966 yılında yazdıkları "GERT yönteminin temelleri" adlı makaleyle atılmıştır. İlerki yıllardaysa bu yöntemin birçok üst versiyonu türetilmiştir.

Bu bölümde şebeke planlarının stokastik ve mantıksal özelliklerinin analizi için bir prosedür tanımlanacaktır [6]. Bu yöntem çizitsel değerlendirme ve gözden geçirme yöntemi (Graphical Evaluation and Review Technique) ya da kısaca GERT olarak adlandırılır.

Stokastik şebekelerin başlıca avantajlarından biri proje sonuçlarını değerlendirme yeteneğidir. Bu yeteneğe sahip GERT yöntemi stokastik şebekelerin analizi için geliştirilmiş bir yöntemdir. Stokastik şebekeler olasılıklı oluşumlar içerdiği için, şebekenin tekrar tekrar çalıştırılması sayesinde sonuçlardan bir dağılım geliştirmek mümkündür. Bu kabiliyet bir projenin safhalarının planlanmasında önemli bir yer tutar ve yöneticiye başarı olasılığı, başarısızlık riski gibi önemli bilgiler sağlar.

GERT yöntemi hem bir düğümün gerçekleşme olasılığını hem de iki düğüm arasında geçen zamanın şartlı MGF (moment üreten fonksiyon) değerini türetir.

3.1. GERT prosedürünün adımları

GERT yöntemi problemin çözümünde aşağıdaki adımlardan faydalanır

:

1. Bir sistem veya problemin niteliğine ait tanımını stokastik şebeke formunda bir modele dönüştürmek.
2. Şebekenin dallarını tanımlamak için gerekli datayı toplamak.

3. Şebekenin eşdeğer fonksiyon veya fonksiyonlarını hesaplamak.
4. Eşdeğer fonksiyonunu, şebekenin aşağıdaki iki performans derecesine dönüştürmek ; belli bir düğümün gerçekleşme olasılığı ve eşdeğer şebekeye ait zaman parametresinin MGF değeri.
5. Dördüncü maddedeki bilgiler ışığında sistem hakkında sonuçlar çıkarmak.

GERT yönteminin şebeke planı düğümleri ve dalları içerir. Şebeke planındaki bir düğüm, çıkış ve giriş fonksiyonları olmak üzere iki fonksiyon içerir. Bu bölümde giriş tarafında üç tane ve çıkış tarafında iki tane olmak üzere altı düğüm tipi kullanılacaktır. Tablo (3.1)'de bu düğüm tipleri gösterilmektedir.

Tablo 3.1 Düğüm sembolleri

ÇIKIŞ \ GİRİŞ	GİRİŞ	EXOR	INCOR	AND
	DETERMİNİSTİK			
	OLASILIKLI			

Exclusive-or giriş (EXOR) = Düğüme yönelen dallardan sadece biri gerçekleşebilir.

Inclusive-or giriş (INCOR) = Düğüme yönelen herhangi bir dal düğümü gerçekler. Fakat gerçekleşme zamanı düğüme yönelen aktivitelerin tamamlanma zamanlarının daima en küçüğüdür.

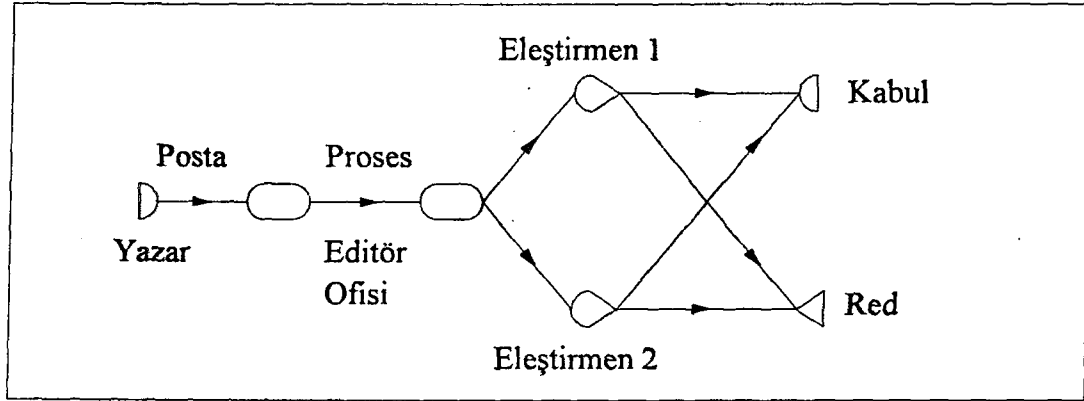
And giriş (AND) = Düğüme yönelen tüm dallar gerçekleşirse düğüm gerçekleşecektir. Gerçekleşme zamanı düğüme yönelen aktivitelerin tamamlanma zamanlarının en büyüğüdür. Bu yüzden bu düğüm bir PERT düğümüne denktir.

Deterministic çıkış = Düğümünden çıkan tüm aktiviteler yerine getirilmelidir. Bu durumda gerçekleşme olasılığı birdir.

Olasılıklı çıkış = Eğer düğüm gerçekleşiyorsa, düğümünden çıkan bir ve yalnız bir aktivite yerine getirilebilir.

3.1.1. Problem formülasyonu ve data toplanması (GERT yönteminin birinci ve ikinci adımları)

Problem formülasyonu endüstri mühendisliğinin en zor safhalarından biridir. Bunu anlayabilmek için şöyle bir örneği inceleyelim.

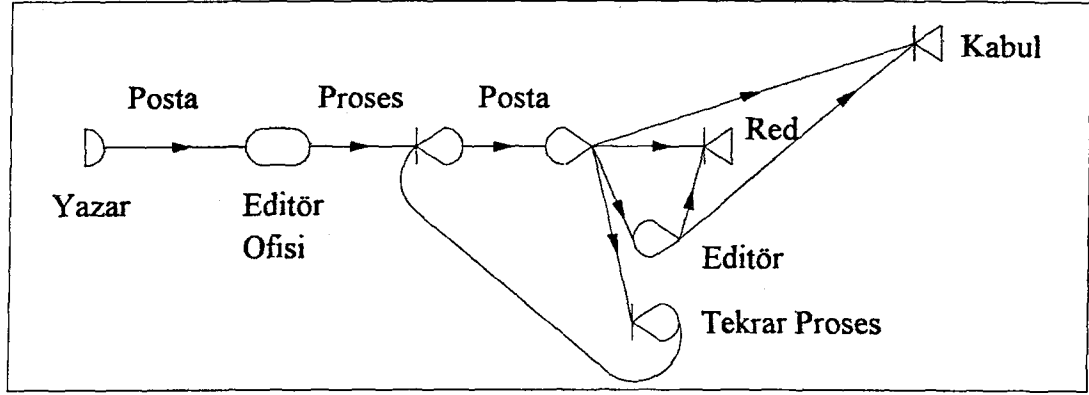


Şekil 3.1 İki eleştirmenli bir prosesin stokastik şebeke modeli

Bu sistem de (şekil 3.1) eleştirmenin sadece kabulü veya reddi vardır. Makale iki eleştirmene yollandığı için AND deterministik düğüm tipi kullanılmıştır. AND düğümü eleştirmenin kabulü için, INCOR düğümü eleştirmenin reddi için kullanılmıştır. Her iki eleştirmen de makaleyi ya kabul edecek ya da reddedecektir. Dolayısıyla her iki eleştirmenden ya kabul ya da red çıkışı olacağı için, her eleştirmen için olasılıklı çıkış kullanılmıştır.

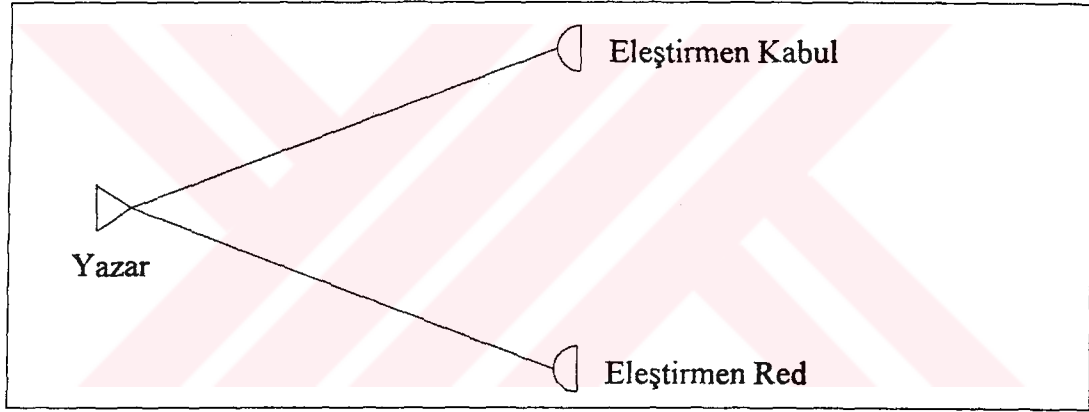
Şimdi de şekil 3.2' deki şebeke modeline bakalım. Bu modelde editörde proses'e katılır. Bu şekilde eleştirmenin kabulü, reddi, editöre gönderme veya tekrardan prosese sokma ihtimali vardır. Bu yüzden bu ihtimaller olasılıklı çıkışla gösterilmiştir.

Şekil 3.1 ve şekil 3.2' deki şebekeler bize iki mümkün eleştiri prosesini gösterir. Bir modelin seçimi proses ve elde mevcut dataya bağlıdır. Şebeke modelleri altşebekeleri modellemek için kurulabilir. Aynı zamanda şebeke modelleri daha büyük şebeke modeli için data geliştirilmesinde de kullanılabilir. Böylece modellerin bir hiyerarşisi planlanır.



Şekil 3.2 Ardışık bir tenkid prosesinin stokastik şebeke modeli

Şekil 3.1 ve şekil 3.2' de gösterilen şebeke modellerinin eşdeğeri şebeke modeli şekil 3.3' de gösterilmektedir.



Şekil 3.3 şekil 3.1 ve şekil 3.2' deki şebekelerin eşdeğer şebekesi

Bu modelde p_a ve p_r sırasıyla eleştirmenin kabul ve red olasılıkları, t_a ve t_r ise yine sırasıyla eleştirmenin kabul ve reddi için geçen zamanlardır. t_a ve t_r rastlantı değişkenidirler.

Buraya kadar anlatılanlar GERT yönteminin problem formülasyonu safhalarını gösterir. Şimdi eşdeğer şebekeler için gerekli olan mekanizma türetilenektir.

3.1.2. Stokastik şebeke analizi (GERT yönteminin üçüncü ve dördüncü adımları)

3.1.2.1. EXOR düğümleri

İlk olarak EXOR düğümü bilgisayar'a yatkınlığı bakımından ele alınacak. Analiz, verilen iki düğüm arasında eşdeğer bir dal şebeke bulunmasına yönlendirilecek. Bunun için iki adımlı bir dönüşüm uygulanacak.

İlk olarak zaman parametresi MGF ile karakterize edilir.

$$\begin{aligned}
 M_1(s) &= E\{e^{st}\} \\
 &= \int_t e^{st} \cdot f(t) \cdot dt \quad \text{eğer } t \text{ sürekli bir değişken ise,} \\
 &= \sum_t e^{st} \cdot f(t) \quad \text{eğer } t \text{ ayrık bir değişken ise.}
 \end{aligned} \tag{3.1}$$

Burada $f(t)$ zaman parametresinin bağımlısı yoğunluk fonksiyonudur. $f(t)$ için Laplace transformu, karakteristik fonksiyon veya diğer eksponansiyel transformlar kullanılabilir.

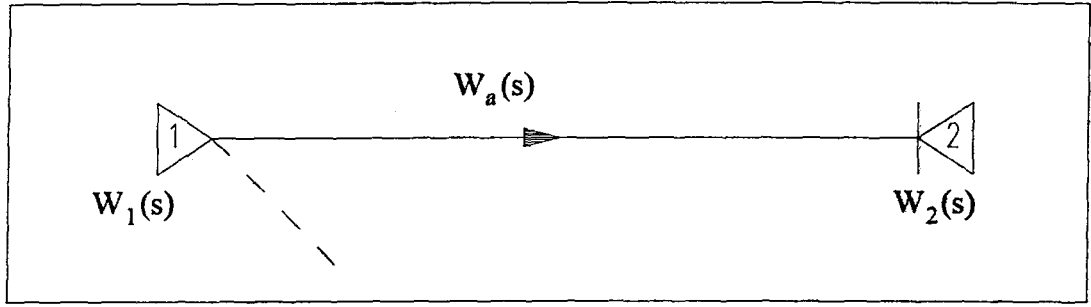
Eğer zaman sabit ise ($t=t_0$), o halde $M_1(s)=e^{st_0}$ olur. $f(t)$ bir yoğunluk fonksiyonu olduğu için $\int_t f(t) \cdot d(t)=1$ ve $M_1(0)=1$ olur.

İkinci olarak (3.2) nolu denklemde görüldüğü gibi w-fonksiyonu tanımlanır.

$$w(s)=p \cdot M_1(s) \tag{3.2}$$

Bu formülde p dalın gerçekleşme olasılığını, $M_1(s)$ zaman parametresinin MGF değerini gösterir.

Bir şebeke formu için w-fonksiyonları bir lineer bağımsız denklemler sistemi oluşturduğu ve flowgraph teorisinin topoloji denklemi ile tek bir w-fonksiyonuna indirgenebildiği için yukarıdaki bu iki safha dönüşüm uygulanır.



Şekil 3.4 w fonksiyonu gösterimi

Şimdi şekil 3.4' te gösterilen şebekeyi düşünelim. Burada düğüm 2' nin gerçekleşme olasılığı, a dalının gerçekleşme olasılığı kadar düğüm 1' in gerçekleşme olasılığıdır. Yani $p_2 = p_1$ yazılabilir. Düğüm 2'nin gerçekleşme zamanı ise düğüm 1' in gerçekleşme zamanı ile a dalındaki zamanın toplamıdır. Böylece zamanların toplamının MGF değeri her bir zamanın MGF değerinin çarpımı olduğu için $M_2(s) = M_1(s) \cdot M_a(s)$ yazılabilir. Buradan $w_2(s) = (p_1 \cdot p_a) \cdot (M_1(s) \cdot M_a(s))$ veya $w_2(s) = w_1(s) \cdot w_a(s)$ sonucuna varılır. Şekil 3.4' teki örnek için eşdeğer w-fonksiyonu $w_E(s) = w_2(s)/w_1(s) = w_a(s)$ halini alır.

Şebeke Tipi	Sabit Zamanlarla Gösterme	Eşdeğer W fonksiyonu
Seri		$W_a \cdot W_b$
Paralel		$W_a + W_b$
Tek Döngü		$\frac{W_a}{1 - W_b}$

Şekil 3.5 Basit EXOR şebekeleri

Şekil 3.5'de paralel halde, seri halde ve tek döngü halindeki dalların eşdeğer w-fonksiyonları gösterilmektedir. Seri haldeki iki dal için, düğüm

1'den düğüm 3'e geçiş olasılığı önce dal a sonra dal b'ye geçiş olasılığı olduğu için $p_E = p_a \cdot p_b$ ve benzer olarak $M_E(s) = M_a(s) \cdot M_b(s)$ şeklinde yazılabilir.

Paralel haldeki iki dal için ise, düğüm 1'den düğüm 2'ye geçiş olasılığı dal a veya dal b'den geçiş olasılığı olduğu için $p_E = p_a + p_b$ halini alır.

Exclusive-or düğümünün tanımı hatırlanırsa dal a ve dal b aynı zamanda oluşamaz. ($P_a + P_b \leq 1$)

$$M_E(s) = \frac{p_a M_a(s) + p_b M_b(s)}{p_a + p_b}$$

$$\text{ve } w_E(s) = p_E \cdot M_E(s) = w_a(s) + w_b(s)$$

Seri ve paralel dalların $w_E(s)$ 'leri için olan denklemler gösteriyor ki, w-fonksiyonlu dallar lineer şebekeler oluşturuyor. Bu sonuç exclusive-or düğümlü şebeke analizleri için topoloji denklemi kullanımına izin verir. Kapalı bir şebeke için topoloji denklemi (tüm s'ler için)

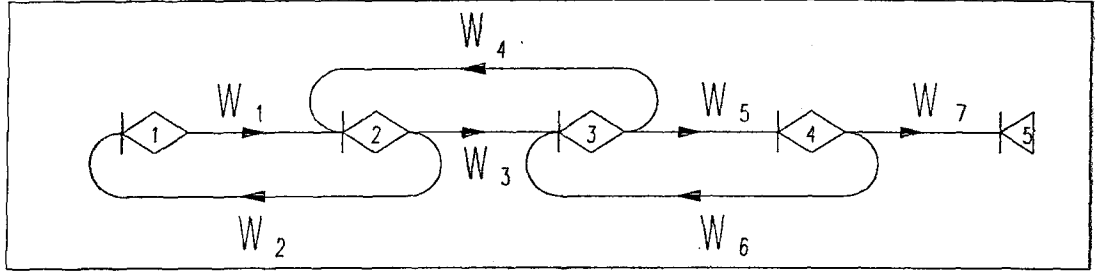
$$H(s) = 1 + \sum_m \sum_i (-1)^m \cdot L_i(m, s) = 0 \quad (3.3)$$

(3.3) nolu denklemle ilgili ayrıntılı bilgi Ek A'da verilmektedir. Bu denklemde $L_i(m)$ m.dereceden i.döngüdür. Bir döngü dalların bir sonucu olarak tanımlanır. Öyle ki her düğüm iki ve yalnız iki döngü dalına sahiptir. Biri o düğümde biter, diğeri o düğümden çıkar. Birinci derece bir döngüde her düğüm diğer her bir düğüm ile bağlanabilir. n.dereceden bir döngü n tane ayrık birinci derece döngülerin bir birleşimidir. Ayrık döngüler ortak düğümleri olmayan döngülerdir. Bir döngünün w-fonksiyonu döngü dallarına ait w-fonksiyonlarının çarpımıdır. Yani;

$$L_i(1, s) = \prod_{j \in i} w_j(s) \quad (3.4)$$

$$L_i(m, s) = \prod_k L_k(1, s) \quad (3.5)$$

denklemleri yazılabilir. Bu denklemde k m adet değer alır ve m değerleri ile ilişkili döngüler ayrıktır.



Şekil 3.6 Açık bir stokastik şebeke

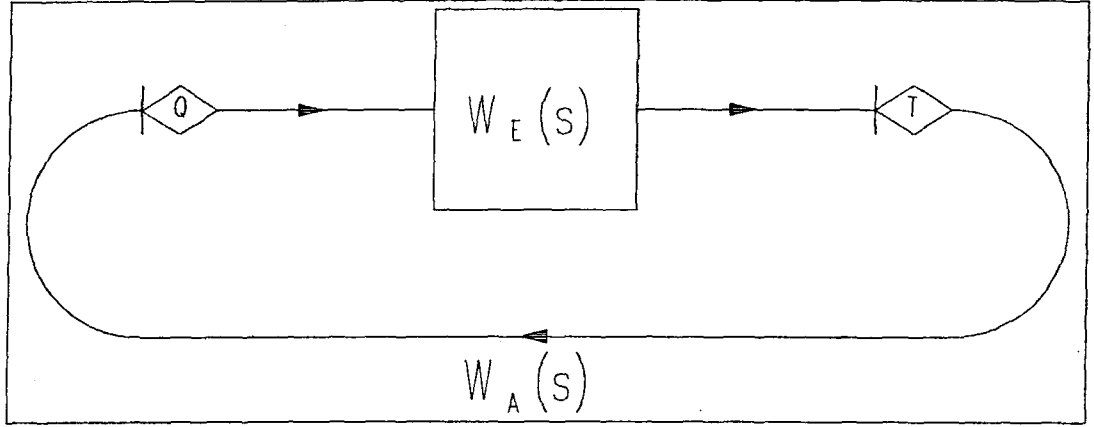
Topoloji denkleminin kullanımından önce Şekil 3.6'yı inceleyelim. Döngünün tanımı hatırlanırsa bu şebekede üç tane birinci derece döngü olduğu görülür. Bunlar $L_1(1)=w_1 \cdot w_2$; $L_2(1)=w_3 \cdot w_4$; $L_3(1)=w_3 \cdot w_6$ 'dır.

Bunların döngü olmasının sebebi, döngünün her dalının yalnız bir döngü düğümüne girmesi ve çıkmasıdır. Eğer dallar seri haldeler ise, döngünün w-fonksiyonu döngü dallarının w-fonksiyonlarının çarpımıdır. Bu şebekede $L_1(1)$ ve $L_3(1)$ döngülerinin ortak bir düğümü yoktur. Bu yüzden onlar ayrıştırılır (dokunmazlar) ve ikinci derece bir döngü oluşturmak için birleştirilirler.

$$L_1(2)=L_1(1) \cdot L_3(1)=w_1 \cdot w_2 \cdot w_5 \cdot w_6$$

Topoloji denklemini uygulayabilmek için şebeke kapalı olmalıdır. Eğer iki düğüm arasında eşdeğer bir w-fonksiyonu isteniyorsa, o zaman aradaki dallar kaldırılabilir (the converse of superposition). Buna göre şebeke uç düğümden başlangıç düğümüne bir dal eklenmesi ile kapatılabilir. Bu işlem, iki düğüm arasındaki tüm yolları iki düğüm içeren döngülere dönüştürür. Bu bağlamda şebeke bir dal ilavesiyle kapatılır.

Keyfi karmaşıklığa sahip bir şebeke şekil 3.7'de görüldüğü üzere siyah bir kutuyla tasavvur edilsin. Bu şebeke gerekli bir dalın eklenmesiyle kapatılır.



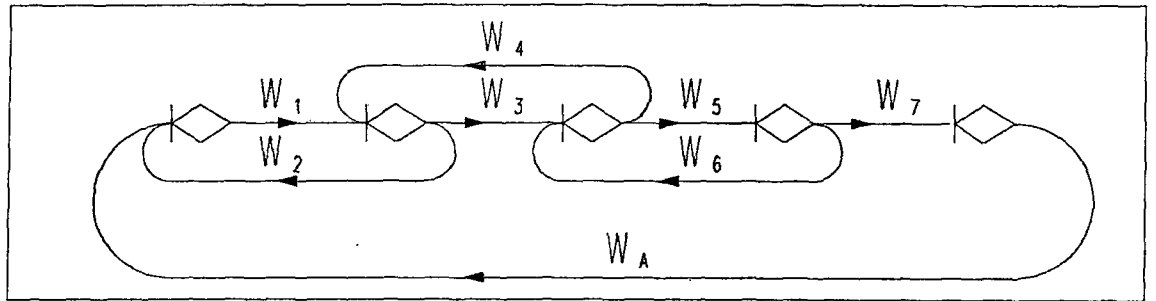
Şekil 3.7 Kapalı bir stokastik şebeke

Şekil 3.7'deki şebekede Q'den T'ye kadar olan eşdeğer bir dal şebeke $w_E(s)$ 'dir. Bu şebekede yalnız bir döngü ($w_E(s) \cdot w_A(s)$) vardır. Şebeke kapalı olduğundan topoloji denklemi uygulanabilir.

$$H(s) = 1 - w_E(s) \cdot w_A(s) = 0 \Rightarrow w_A(s) = 1/w_E(s) \text{ olur.}$$

Açıkça görüleceği üzere, şebekeyi kapatmak için eklenen dal şebekenin eşdeğer dalının tersidir. Bu ise genel bir sonuçtur.

Şimdi de şekil 3.8' deki şebekeyi inceleyelim. Bu şekil 3.6'nın kapalı bir versiyonudur.



Şekil 3.8 şekil 3.6'daki stokastik şebekenin kapalı bir versiyonu.

Bu şebekede dört adet birinci dereceden ($L_1(1)=w_1 \cdot w_2$; $L_2(1)=w_3 \cdot w_4$; $L_3(1)=w_5 \cdot w_6$; $L_4(1)=w_1 \cdot w_3 \cdot w_5 \cdot w_7 \cdot w_A$), bir adet ikinci dereceden ($L_1(2)=w_1 \cdot w_2 \cdot w_3 \cdot w_6$) döngü vardır. Topoloji denklemi kullanılarak;

$H=1 - w_1.w_2 - w_3.w_4 - w_5.w_6 - w_1.w_3.w_5.w_A.w_7 + w_1.w_2.w_5.w_6 = 0$ yazılabilir.
 $w_E=1/w_A$ olduğuna göre

$$w_E = \frac{w_1.w_3.w_5.w_7}{1 - w_1.w_2 - w_3.w_4 - w_5.w_6 + w_1.w_2.w_5.w_6}$$

w_E 'yi hesaplamak için direkt bir yöntem de Mason'un kuralıdır. Buna göre :

$$w_E(s) = \frac{\sum_j P_j(s) \cdot [1 + \sum_m (-1)^m \cdot L(m,s)]}{H^*(s)} \quad (3.6)$$

olup burada ;

$P_j(s)$: j.yolun w-fonksiyonu.

$L(m)$: j.yola dokunmayan m. dereceden döngülerin w-fonksiyonları toplamı.

$H^*(s)$: $(w_A(s)=0)$ 'ın olduğu topoloji denklemi değeridir.

Bundan evvelki paragraflarda dallara ait zaman parametrelerinin bağımsız rastlantı değişkenleri olduğu kabul edildi. Eğer zamanlar bağımsız değilse, o zaman MGF hem dal ve hem de zaman üzerinde uygun bir duruma getirilmelidir. Kısaca topoloji denklemi eşdeğer w-fonksiyonu $w_E(s)$ 'i bulmak için kullanılır.

$$P_E = w_E(0) \quad (3.7)$$

ve

$$M_E(s) = w_E(s)/w_E(0) \quad (3.8)$$

Son denklemden orjin etrafındaki j.momentler (μ_{jE}) veya j.kümülant (K_{jE}) aşağıdaki denklemler yardımıyla bulunabilir.

$$\mu_{jE} = \frac{\partial^j}{\partial s^j} [M_E(s)] \Big|_{s=0} \quad (3.9)$$

$$K_{jE} = \frac{\partial^j}{\partial s^j} j [\ln M_E(s)] \Big|_{s=0} \quad (3.10)$$

İlk üç kümülant, ortalama eksenine göre alınmış ilk üç moment'e eşittir. Bu istatistikler GERT yönteminin beşinci safhasında kullanılabilir.

3.1.2.2. AND ve INCOR düğümleri

Buraya kadar EXOR tipi düğümlerden oluşmuş şebekeler için bir yöntem geliştirildiği için, AND ve INCOR tipinde düğümlerden oluşmuş şebekelerin EXOR tipi şebekelere dönüştürülmesi gerekir.

Eğer bir düğümün giriş tarafından bir dal girer ve çıkış tarafından bir dal çıkarsa, tüm düğüm tipleri aynı tarzda davranırlar. Böylece, yalnız seri haldeki iki dal gözden geçirildiğinde, düğüm tipinin eşdeğer bir dal şebeke üzerine hiçbir etkisi olmadığı görülür.

Geribildirim kavramı yalnız exclusive-or giriş tipli düğüm için uygundur. AND tipi bir düğüm için ise, tüm girişler gerçekleşmedikçe düğüm gerçekleşemez. INCOR giriş tipi için, yalnız tamamlanan ilk aktiviteyi gösteren dal etkilidir. Diğer dallar zaman hesaplamasında ihmal edilir. Bir geribildirim dalı daima bir geribildirimsiz daldan sonra tamamlanacağı için, bir geribildirim dalı düğüme bağlı ise exclusive-or gösterimi INCOR düğümü ile yer değiştirebilir.

Basit şebekeler için, AND ve INCOR giriş tipleri EXOR tipine dönüştürülebilir. Bu, ayrık yollardaki düğümler için başarılabılır. Şekil 3.9'daki gibi basit bir AND düğümlü şebeke düşünelim.

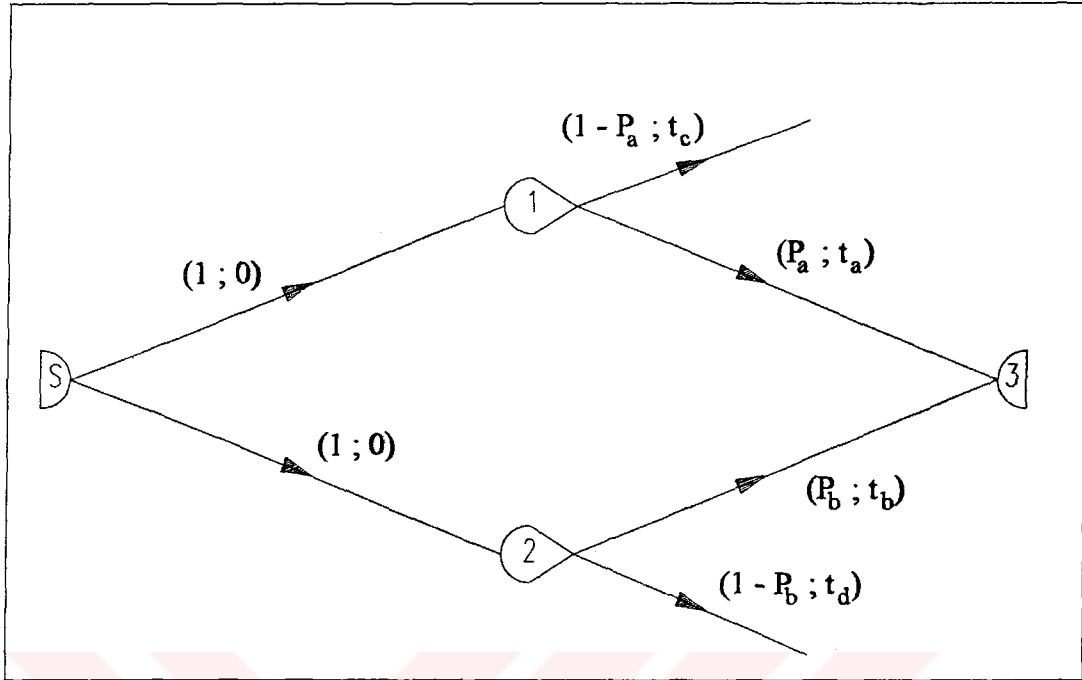
Düğüm 3 ancak a ve b gerçekleşirse gerçekleşecektir. a'nın gerçekleşme olasılığı $P_1 \cdot p_a$ ve b'nin gerçekleşme olasılığı $P_2 \cdot p_b$ 'dir. Her ikisinin gerçekleşme olasılığı $P_1 \cdot p_a$ ve $P_2 \cdot p_b$ 'nin kesişimidir. $P_{1 \cap 2} = P_1$ ve $P_{a \cap b} = p_a \cdot p_b$ olmak üzere $P_3 = P_1 \cdot p_a \cdot p_b$ 'dir.

Her iki dalda gerçekleşmek zorunda olduğundan, $T_3 = \max(T_1 + t_a; T_2 + t_b)$ yazılabilir. Bu durum için $T_1 = T_2 = T_s$ 'dir. Bu yüzden $T_3 = T_s + \max(t_a; t_b)$ olur. Bu da

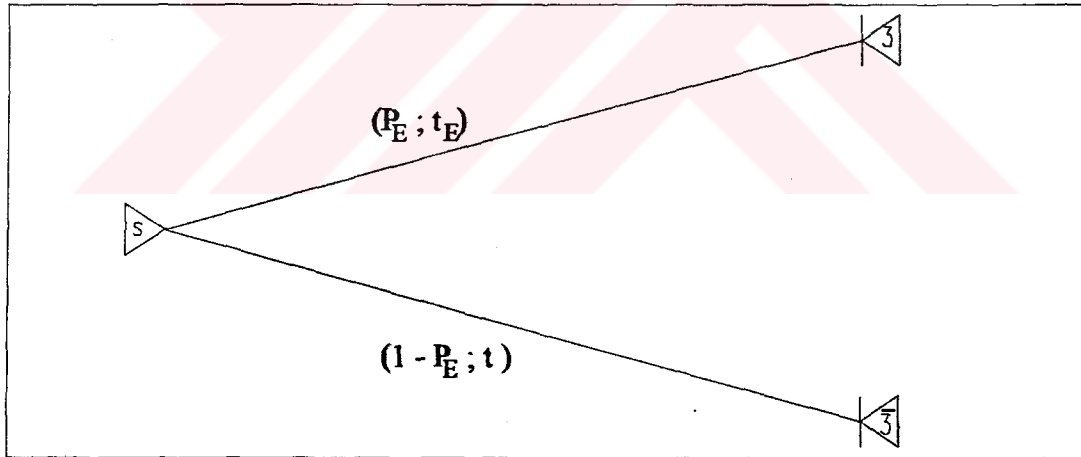
$$p_E = p_a \cdot p_b \text{ ve}$$

$$t_E = \max(t_a; t_b) \text{ denklemlerini verir.}$$

Şekil 3.9'daki şebekenin eşdeğeri şebeke şekil 3.10'da görüldüğü gibidir.



Şekil 3.9 AND düğümlü basit bir şebeke



Şekil 3.10 AND düğümü için eşdeğer şebeke.

Şekil 3.10'daki düğüm $\bar{3}$ düğüm 3'ün gerçekleşmemesini gösterir.

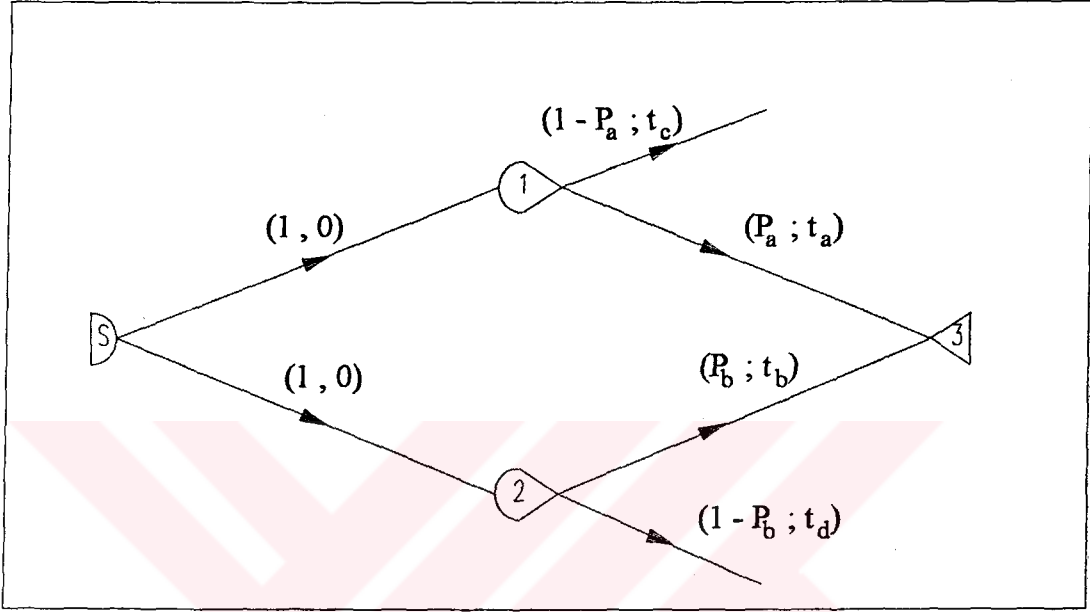
Paralel haldeki dallar için, w fonksiyonu özel bir operatörle uygulanabilir. Sembol $\otimes$ aşağıdaki denklemle tanımlanmak üzere

$$w1 \otimes w2 = \sum_i \sum_j P_{1i} \cap P_{2j} . e^{st_{ij}} \quad (3.11)$$

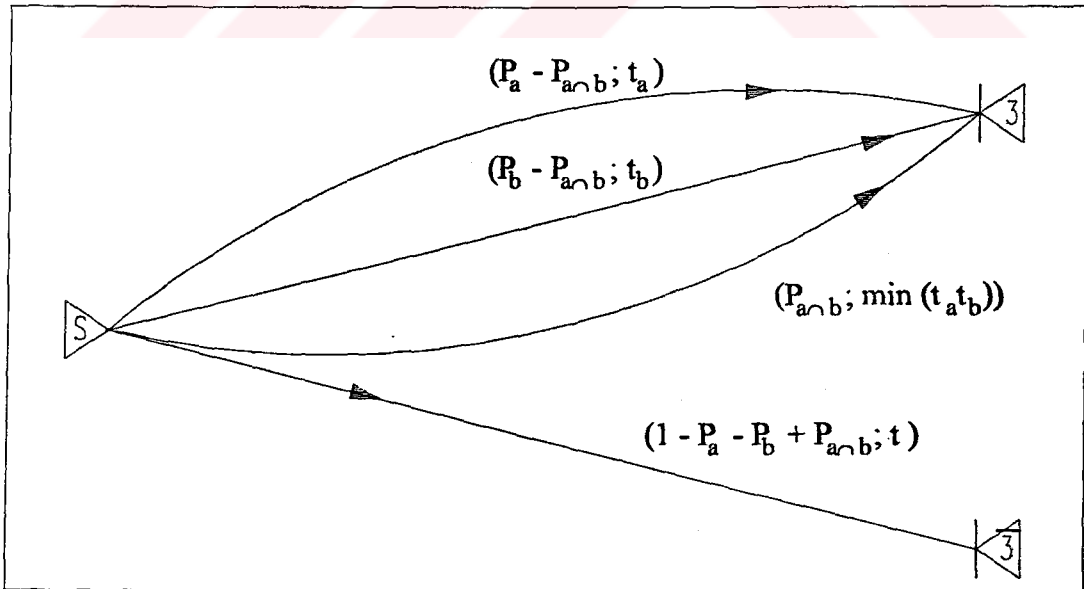
eşitliği yazılır. Burada

$$w_1 = \sum p_{1i} \cdot e_i^{st} \quad \text{ve} \quad w_2 = \sum p_{2j} \cdot e_j^{st} \quad \text{ile} \quad \tau_{ij} = \max(t_{1i}; t_{2j})' \text{dir.}$$

INCOR düğümleri içinde aynı prosedür uygulanabilir. Şekil 3.11'deki şebeke şekil 3.12'deki şebekeye eşdeğerdir.



Şekil 3.11 INCOR düğümlü basit bir şebeke.



Şekil 3.12 INCOR düğümü için eşdeğer şebeke.

Şekil 3.12'de düğüm $\bar{3}$ düğüm 3'ün gerçekleşmemesini gösterir. Proses düğüm s'den düğüm 3'e gerçekleşen ayrışık alternatif yöntemlerin sayımını içerir. Bu Tablo 3.2'de gösterilmiştir.

Tablo 3.2 INCOR düğümleri için mümkün olaylar.

DAL OLUŞUMU	OLASILIK	EŞDEĞER ZAMAN
a fakat b değil	$p_a - p_{a \cap b}$	t_a
b fakat a değil	$p_b - p_{a \cap b}$	t_b
a ve b	$p_{a \cap b}$	$\min(t_a ; t_b)$

Rastlantı değişkeni zamanlar için and ve Inclusive-or tipinde düğümlerden kurulu şebekelere ait doğrudan uygulanan hiçbir yöntem analizi geliştirilememiştir.

3.1.3. Şebekenin gözden geçirilmesi ve değerlendirilmesi (GERT yönteminin beşinci adımı)

Bir gözden geçirme prosesinde, sistemin performansı ile ilgili güvenilirlik limitlerinin ve dal parametrelerindeki değişikliklerin sistem performansına etkisinin bilinmesi arzu edilir. Güvenilirlik limitlerinin eşdeğer şebekeye geçmek için gerekli zamanın dağılımı hakkındaki bilgiye gereksinimi vardır. Dağılım fonksiyonunu bulmak için ise ya MGF'den veya diğer ekspansiyel transform (tablolar, Inversion integralleri, Pearson eğrileri, Gram-Charlier serileri)'larından yararlanılır.

GERT yöntemi belki de en iyi bilinen, en geniş şekilde kullanılan stokastik şebeke analizi yöntemidir. GERT yöntemi maliyet analizi de içerebilir. Bununla birlikte maliyet hesaplamadaki zorluklar onu ikinci bir değişken olarak düşünmeye zorlar. Çünkü GERT yönteminde maliyet daima bağımlı bir değişkendir. Bu yüzden yöneticiye bütçe hesabında, maliyetin zaman planlamasına etkisini hesaplamada engel teşkil eder. Bu durum yönetsel uygulamalarda önemli bir kusurdur.

Buraya kadar anlatılanlar özetlenecek olursa GERT EXOR, INCOR, AND düğümleri ve çok parametrelili dallardan meydana gelen stokastik şebekelerin analizi için geliştirilmiş bir yöntemdir [10]. Şebekenin dalları iki veya daha fazla parametreyle tanımlanır :

- i) Dalın gerçekleştiği bir şartlı olasılık,
- ii) Dalın gerçekleşme zamanı.

Ayrıca EXOR düğümlerinden oluşan şebekelerin değerlendirilmesi için olasılık ve zaman parametresinin MGF'si bakımından bir yöntem geliştirilmiştir.

Böylece iki parametrelili dallardan oluşmuş stokastik şebekeler için aşağıdaki sonuçlar elde edildi.

- 1) İki parametrelili (P,t) bir dal aşağıdaki denklem yardımıyla bir w-fonksiyonuna dönüştürülür.
 $w(s)=P.M(s)$. Burada P olasılık ve M(s) ise MGF'dir.
- 2) EXOR düğümleri için; flowgraph teoriden çıkan topoloji denklemi, keyfi karmaşıklıkta bir şebekenin eşdeğer w-fonksiyonu $w_E(s)$ 'i bulmak için kullanılır.
- 3) Eşdeğer olasılık $P_E=w_E(0)$ 'dir.
- 4) Eşdeğer MGF $M_E(s)=\frac{w_E(s)}{w_E(0)}$ ile bulunur.

3.2. GERT yönteminin bir uygulaması

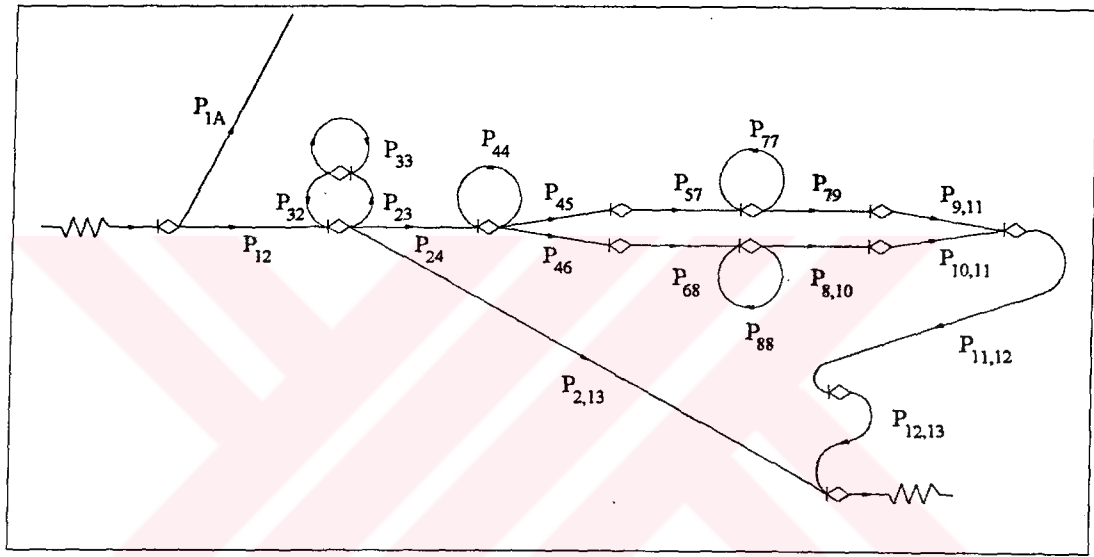
Buraya kadar anlatılan GERT yöntemi örnek olarak gemi inşaatının bir aşaması olan gemi onarımına uygulanacaktır [7]. Gemi onarımı proje yönetimi makinaların ortalama kullanımının hesabına, onarım zamanına ve diğer bilgilere ihtiyaç duyar. Bunun için şekil 3.13'de basit bir EXOR şebeke modeli kurulmuştur. Burada oldukça basitleştirilmiş bir tanker bakım planı gösterilmiştir. Şebekenin kurulduğu tersanede bir yüzer ve bir kuru havuz vardır.

Şebekede her aktivite iki parametreyle temsil edilmektedir. Bunlar gerçekleşme olasılığı ve zamanın istatistik dağılımını gösteren eşdeğer fonksiyondur.

Şebekeden görüldüğü üzere P_{12} geminin onarım tesisine gelme olasılığı, $P_{1A}=(1 - P_{12})$ ise geminin bir başka tersaneye nakli olasılığıdır. İki nolu düğüme gelen gemi, P_{24} olasılıkla havuzlama işlemi için hazırlanacak, $P_{23}=(1 -$

$P_{24} - P_{2,13}$) olasılıkla rıhtıma yanaştırılacak veya $P_{2,13}$ olasılıkla ayrılış noktasına gidecektir. Gemi bir kere limana çekildimi bir daha çekilmeyebilir. Havuzlama işlemi için hazırlıkları biten gemi dört nolu düğümde P_{44} olasılıkla boş bir havuzda bekletilebilir, P_{45} olasılıkla yüzer bir havuza alınabilir yada P_{46} olasılıkla kuru bir havuza çekilebilir.

Bu aktivitelerin hepsi zaman, maliyet vs. dağılımlara sahiptir. Mason kuralını uygulayarak bu şebeke için birinci ve onüçüncü düğümler arasında eşdeğer bir w-fonksiyonu ($w_{1,13}(s)$) bulabiliriz.



Şekil 3.13 Gemi onarımının tüm planlama modeli.

Mason kuralının

$$w_E(s) = \frac{\sum_j P_j(s) \cdot [1 + \sum_m (-1)^m \cdot L(m,s)]}{H^*(s)}$$

olduğu hatırlanmak üzere bu şebekede üç yol olduğu görülür :

1.yol : 2-4-5-7-9-11-12-13 düğümlerinden geçen yol.

2.yol : 2-4-6-8-10-11-12-13 düğümlerinden geçen yol.

3.yol : 2-13 düğümlerinden geçen yol.

$$P_1(s) = w_{2,4} \cdot w_{4,5} \cdot w_{5,7} \cdot w_{7,9} \cdot w_{9,11} \cdot w_{11,12} \cdot w_{12,13}$$

$$P_2(s) = w_{2,4} \cdot w_{4,6} \cdot w_{6,8} \cdot w_{8,10} \cdot w_{10,11} \cdot w_{11,12} \cdot w_{12,13}$$

$$P_3(s) = w_{2,13}$$

$$w_{1,13} = \frac{w_{1,2}}{H(s)} [P_1(s) \cdot (1 - w_{3,3} - w_{8,8} + w_{3,3} \cdot w_{8,8}) + P_2(s) \cdot (1 - w_{3,3} - w_{7,7} + w_{3,3} \cdot w_{7,7}) + P_3(s) \cdot (A(s))]$$

$$\begin{aligned} \overline{H(s)} = 1 & - [w_{3,3} + w_{2,2} + w_{4,4} + w_{7,7} + w_{8,8}] + \\ & [w_{2,2} \cdot w_{4,4} + w_{2,2} \cdot w_{7,7} + w_{2,2} \cdot w_{8,8} + w_{3,3} \cdot w_{4,4} + w_{3,3} \cdot w_{7,7} + w_{3,3} \cdot w_{8,8} + w_{4,4} \cdot w_{7,7} + w_{4,4} \cdot w_{8,8} + w_{7,7} \cdot w_{8,8}] \\ & - [w_{3,3} \cdot w_{4,4} \cdot w_{7,7} + w_{3,3} \cdot w_{4,4} \cdot w_{8,8} + w_{2,2} \cdot w_{4,4} \cdot w_{7,7} + w_{2,2} \cdot w_{4,4} \cdot w_{8,8} + w_{4,4} \cdot w_{7,7} \cdot w_{8,8}] + \\ & [w_{3,3} \cdot w_{4,4} \cdot w_{7,7} \cdot w_{8,8} + w_{2,2} \cdot w_{4,4} \cdot w_{7,7} \cdot w_{8,8}] \\ A(s) = \overline{H(s)}|_{w_{2,2}=0} & \text{ olmak üzere.} \end{aligned}$$

$w_E(s)$ bulunduğundan ötürü;

$P_E = w_{1,13}(0)$ ve $M_E(s) = \frac{w_{1,13}(s)}{P_E}$ denklemlerinden istenilen değerler elde edilebilir.

Ayrıca 1-13 düğümleri arasındaki ortalama zamanı

$$T_{1,13}(E) = \frac{\partial w_{1,13}(s)}{\partial s} \Big|_{s=0} \text{ eşitliğiyle bulunabilir.}$$

Eşdeğer beklenen zaman $E(t)$ olmak üzere

$$E(t) = \frac{T_{1,13}(E)}{P_E} \text{ yazılabilir.}$$

BÖLÜM 4. PNET YÖNTEMİ

GERT yöntemi gibi PNET yöntemide bir stokastik şebeke analizi yöntemidir. Bununla birlikte büyük şebekeler için GERT yöntemi uygulandığında, hiç gereği olmayan önemli problemler ortaya çıkar. Belli tipte şebekeler için "şebeke indirgeme" yöntemi uygulanabildiği halde, daha genel şebekeler (konstrüksiyon gibi) için GERT yöntemi ne etkili ne de pratiktir. Bu da GERT yönteminden sonra aktivite şebekelerinin olasılıklı analizi problemlerine ilgiyi arttırmıştır.

Uygun kararlar verilmesinde gerekli olasılık bilgisinin sağlanması için, belirsizlik altında aktivite şebekelerinin değerlendirilmesinde pratik bir yöntem gereklidir. Bu amaçla geliştirilmiş basit ve pratik yöntem PNET (Probabilistic Network Evaluation Technique) yöntemidir [9].

PNET yöntemi, belirsizlik altında projelerin tamamlanma zamanlarının tahmin edilmesinde kullanılır. Böylece yöntem, risk ve olasılık bakımından, şebeke karar problemlerinin ele alınmasına imkan verir. PERT ve CPM yöntemlerinin aksine PNET yöntemi bir şebekedeki tüm mümkün yolları kapsar. Böyle olmasına karşın, PNET algoritması uygulamada PERT kadar basittir. Fazladan yalnızca ferdi yol olasılıklarının hesaplanması gerekir. Ayrıca PNET yöntemi kolaylıkla bilgisayarda programlanabilir.

Belli koşullar altında PNET yöntemi teorik olarak tam sonuç verir. Bundan başka, daha genel şebekeler için PNET yönteminin sağlamlığı, çok örnekli Monte Carlo simülasyonunun sonuçlarıyla karşılaştırılarak doğrulanmış ve tüm durumlarda sonuçlar arasında çok az fark gözlenmiştir.

PNET yöntemi, Monte Carlo simülasyonunun aksine direkt bir analitik prosedürdür. Bu sebeple PNET yöntemi Monte Carlo simülasyonuna nazaran oldukça etkilidir.

PNET yöntemi, hedef zamanda projenin tamamlanma zamanı olasılığı veya hangi olasılıkta proje tamamlanma zamanının ne olacağı hakkında bize fikir verir.

PNET yönteminin temeline ve algoritmasına geçilmeden önce bazı kavramların tanımlanması gerekir.

4.1 Proje tamamlanma olasılığı

4.1.1 Şebeke yolları ve onlarla ilgili olasılıklar

Belli sayıda aktiviteye sahip bir proje şebekesi düşünelim. Bu şebekede $\pi_1, \pi_2, \dots, \pi_n$ şebekenin başlangıç düğümünden bitiş düğümüne kadar olan tüm olası yolların bir seti, $T_1, T_2, \dots, T_n$ ise sırasıyla bu yolların süreleri olsun.

Açıkça projenin tamamlanması, şebekedeki tüm aktivitelerin yani tüm olası yolların tamamlanmasını gerektirir. Eğer T projenin gerçek tamamlanma zamanı ise,

$$(T \leq t) = (T_1 \leq t) \cap (T_2 \leq t) \cap \dots \cap (T_n \leq t) \quad (4.1)$$

eşitliği yazılabilir. Morgan kuralı yardımıyla bu eşitlik

$$(T > t) = (T_1 > t) \cup (T_2 > t) \cup \dots \cup (T_n > t) \quad (4.2)$$

halini alır. Yukarıdaki iki denklemdeki $\cap$ sembolü olayların kesişimi, $\cup$ sembolü ise olayların birleşimi için kullanılmıştır.

Denklem (4.1)'den görülürki, t zamanında projenin tamamlanması ($T \leq t$) şebekedeki tüm yolları içerecektir. O halde teorik olarak projenin tamamlanma olasılığı $p(t)$

$$p(t) \equiv P(T \leq t) = P(T_1 \leq t, T_2 \leq t, \dots, T_n \leq t) \quad (4.3)$$

denklemini yardımıyla hesaplanabilir. Proje süresinin t 'yi aşacağı olasılık $q(t)$ ise

$$q(t) \equiv P(T > t) = P(T_1 > t \cup T_2 > t \cup \dots \cup T_n > t) \quad (4.4)$$

denkleminde bulunabilir. Açıkça, $p(t) + q(t) = 1.0$.

Küçük bir $p(t)$ değeri gerekli tamamlanma zamanının hedef zaman t 'yi aşacağını, büyük bir $p(t)$ değeri ise projenin t zamanı içinde bitirileceğini gösterir.

$(T_1 > t)$, $(T_2 > t)$, , $(T_n > t)$ olayları ayrışık degillerdir. Üstelik, bir şebekedeki ortak aktivitelere sahip farklı yolların birbiriyle korele olduğu düşünülürse $(T_1 \leq t)$, $(T_2 \leq t)$, , $(T_n \leq t)$ olaylarında istatistiksel bağımsız değildirler. Bu yüzden $p(t)$ veya $q(t)$ olasılıklarının hesabı, birçok ortak olasılıkların hesabını gerektirir.

Bu bilgilerin ışığında (4.2) nolu denklem aşağıdaki ayrışık olayların birleşimi olarak genişletilebilir.

$$(T > t) = (T_1 > t) \cup (T_1 \leq t, T_2 > t) \cup \dots \cup (T_1 \leq t, T_2 \leq t, \dots, T_{n-1} \leq t, T_n > t) \quad (4.5)$$

$p(t) = 1 - q(t)$ olduğundan,

$$p(t) = 1 - [P(T_1 > t) + P(T_1 \leq t, T_2 > t) + \dots + P(T_1 \leq t, T_2 \leq t, \dots, T_{n-1} \leq t, T_n > t)] \quad (4.6)$$

denklemleri elde edilir.

4.1.2 Ferdi yollar

Ferdi (individual) yol, şebekedeki iki düğüm arasındaki yoldur. İki düğüm arasında sadece bir aktivite yerine getirilir. Bu aktiviteyede ferdi aktivite denir.

Bir şebekedeki ferdi aktivitelerin sürelerini rastlantı değişkenleri olarak (τ_k , $k=1, 2, \dots$) düşünelim. Buna bağlı olarak ferdi aktivitelerin ortalamalarını (μ_k) ve standart sapmalarını (σ_k) ile gösterelim. Ve ferdi aktivitelerin istatistiksel bağımsız olduğunu kabul edelim.

π_i yolunun T_i süresinin, π_i yolunun kapsadığı ferdi aktivite sürelerinin toplamı olduğu açıktır.

$$T_i = \sum_{k \in \pi_i} \tau_k \quad (4.7)$$

π_i yolunun ortalama süresi

$$\mu_{Ti} = \sum_{k \in \pi_i} \mu_k \quad (4.8)$$

ve istatistiksel bağımsızlık nedeniyle varyans

$$\sigma_{Ti}^2 = \sum_{k \in \pi_i} \sigma_k^2 \quad (4.9)$$

denklemleriyle hesaplanabilir.

Ferdi aktiviteler istatistiksel bağımsız olmalarına rağmen iki farklı yol ortak aktivitelerin bir sonucu olarak korele edilebilir (bağlanabilir). π_i ve π_j gibi herhangi iki yol arasındaki korelasyon

$$\rho_{ij} = \frac{\sum_{k \in (\pi_i \cap \pi_j)} \sigma_k^2}{\sigma_{Ti} \cdot \sigma_{Tj}} \quad (4.10)$$

denklemleri yardımıyla bulunabilir. (4.10) nolu denkleme göre yollar arasındaki korelasyon daima pozitifdir.

4.2 Sınırlar ve yaklaşıklamalar

Yukarıda bahsedildiği üzere proje tamamlanma zamanı olasılığı $p(t)$ 'nin saptanması için basit bir yol yoktur. Bilinen basit bir yol ise sadece ortalama kritik yolu (mean critical path) düşünmektir. Buda PERT yöntemi demektir. Bununla birlikte PERT yöntemi proje süresinin altında değerler verir.

4.2.1 Tamamlanma zamanı olasılığının sınırları

Tamamlanma zamanı olasılığı $p(t)$ ve onun tümleyen olasılığı $q(t)$ 'nin sınırları vardır ve bunlar önemlidir. Çünkü bu sınırlar $p(t)$ 'nin limitlerinin tanımından başka, PNET'in gelişimi için de temel teşkil eder. (4.1) nolu denklemden

$$(T_1 \leq t) \cap (T_2 \leq t) \cap \dots \cap (T_n \leq t) \subset (T_i \leq t), \text{ herhangi } i \text{ için} \quad (4.11)$$

$$P(T_1 \leq t, \dots, T_n \leq t) \leq P(T_i \leq t), \text{ herhangi } i \text{ için} \quad (4.12)$$

ve özellikle

$$p(t) \leq \min_i [P(T_i \leq t)] \quad (4.13)$$

eşitsizlikleri yazılabilir. (4.13) nolu eşitsizlik, şebekedeki tüm yollar çok iyi derecede korele olduğunda sağlanır.

Diğer taraftan, herhangi iki π_i ve π_j yolları arasındaki korelasyon daima pozitif olduğundan ($\rho_{ij} \geq 0$)

$$P(T_i \leq t \mid T_j \leq t) \geq P(T_i \leq t) \quad (4.14)$$

böylece,

$$P(T_i \leq t, T_j \leq t) \geq P(T_i \leq t) P(T_j \leq t) \quad (4.15)$$

ve tümevarımla,

$$P(T_1 \leq t, T_2 \leq t, \dots, T_n \leq t) \geq P(T_1 \leq t) P(T_2 \leq t) \dots P(T_n \leq t) \quad (4.16)$$

eşitsizlikleri yazılabilir. (4.16) nolu eşitsizlik

$$p(t) \geq \prod_{i=1}^n P(T_i \leq t) \quad (4.17)$$

eşitsizliğini ifade eder. (4.17) nolu eşitsizlik, tüm yollar istatistiksel bağımsız olduklarında sağlanır. Buna göre (4.13) ve (4.17) nolu eşitsizliklerinin sağ tarafları sırasıyla $p(t)$ 'nin üst ve alt sınırları olur.

$$\prod_{i=1}^n P(T_i \leq t) \leq p(t) \leq \min_i [P(T_i \leq t)] \quad (4.18)$$

Yukarıdaki tanımlanmış sınırlara göre, tüm yollar arasındaki istatistiksel bağımsızlık kabulü uyumlu tahminler verir. Buna karşın tüm yollar arasındaki çok iyi derecedeki korele hali kabulü uyumsuz sonuçlar verir. Bunlarda sırasıyla en kötü ve en iyi tahminler (tamamlanma zamanı için) olarak adlandırılabilir. Bu bağlamda, PERT daima bir proje zamanı için en iyimser tahmini verir. Yani $p(t)$ çok yüksektir. Bu durum, eğer π_1 ortalama kritik yol (mean critical path) kabul edilirse, (4.6) nolu denklemdende görülebilir.

4.3 PNET (Probabilistic Network Evaluation Technique)

(4.6) nolu denklemden proje tamamlanma zamanı olasılığının daha iyi tahminlerinin, $p(t)$ 'nin değerlendirilmesinde daha fazla yolun düşünülmesiyle elde edilebileceği görülür. Özellikle $\pi_1, \pi_2, \dots, \pi_n$ yolları ortalama sürelerine azalan şekilde sıralanırsa

$$\mu_{T1} \geq \mu_{T2} \geq \dots \geq \mu_{Tn} \quad (4.19)$$

(4.6) nolu denklemdeki eklenen yollar temel (major) yollara (uzun ortalama süreli yollar olarak tanımlanan) göre sınırlandırılabilir. Bununla birlikte, temel yolların tümü istatistiksel bağımsız olmadığı sürece, (4.6) nolu denklem gerçekleştirilmesi kolay olmayan ortak olasılıkların değerlendirilmesine ihtiyaç duyulur ki ortak olasılıkların hesaplanması kolay değildir.

PNET yönteminde tüm temel yollar gözönüne alınır, fakat ortak olasılıkların hesabından kaçınılır. Görüldüğü üzere PNET yöntemi PERT yönteminden daha üst seviyededir ve belli koşullar altında otomatik olarak PERT yöntemine indirgenir.

4.3.1 PNET yönteminin temeli

PNET yöntemi aşağıdaki gözlemlere dayanır.

- Uzun ortalama süreli ve yüksek varyasyon katsayılı yolların $p(t)$ üzerinde yüksek etkisi vardır.
- (4.13) nolu denkleme göre birçok yolun her biri temel bir yolla hayli koreleyse, o zaman bu yollar korele olduğu temel yolla temsil edilebilir. Bu yollara ait tamamlanma zamanı olasılığıysa, yaklaşık olarak, korele olduğu bu temel yolun tamamlanma zamanı olasılığıyla temsil edilebilir.
- Diğer taraftan (4.17) nolu denkleme göre, birçok yol birbiriyle düşük koreleye sahipse, bu yollara ait tamamlanma zamanı olasılığı yaklaşık olarak bu yolların olasılıklarının çarpımıyla hesaplanabilir.

Bu gözlemler ışığı altında, eğer bir şebekedeki tüm temel yollar korelasyonlarına göre alt gruplara bölünebilirse, öyle ki, her alt gruptaki yollar hayli korele ve bir yolla (temsili) temsil edilirse, o zaman proje tamamlanma zamanı olasılığı temsili (representative) yolların tamamlanma zamanı

olasılıkları çarpımı olarak hesaplanabilir. Görüldüğü üzere ortaya çıkan temsili yolların arasındaki karşılıklı korelasyon zayıftır. Hayli korele demek $\rho > 0.5$ demektir.

Aşağıda verilecek PNET algoritması her şebeke için uygulanabilir.

4.3.2 PNET yönteminin algoritması

PNET yönteminin algoritmasını aşağıdaki maddeler halinde sıralayabiliriz:

- a) Yollar, ortalama süreleri azalacak şekilde sıralanır. Sıralanan bu yollar temel yollar adını alır. Temel yollar, en uzun ortalama sürelisine π_1 (ortalama kritik yol) demek suretiyle $\pi_1, \pi_2, \pi_3, \dots$ şeklinde numaralandırılır. Belirlenen temel yollar, ortalama süreleri ortalama kritik yol (π_1) süresinin belli bir yüzdesi olacak şekilde sınırlandırılır.
- b) (4.9) nolu denklem kullanılarak her bir temel yolun standart sapma değerleri hesaplanır.
- c) Temsili yollar belirlenir. (4.10) nolu denklem kullanılarak ortalama kritik yol π_1 ile diğer her bir temel yol π_i 'nin ρ_{1i} korelasyonları hesaplanır. $\rho_{1i} > 0.5$ olan yollar π_1 ile temsil edilir. Böylece ilk temsili yol bulunmuş olur. Korelasyon katsayısı $\rho = 0.5$ değeri yüksek ve düşük korelasyon arasındaki geçişi gösterir.

Daha sonra $\rho_{1i} \leq 0.5$ olan yolları bir yollar altset'i (π_j ; $j=1, 2, \dots, k$) olarak düşünelim. Bu setin en uzun ortalama süreli π_{11} yolu belirlenir. Bu altsetteki π_{11} ile π_j yolları arasındaki ρ_{11j} korelasyonları hesaplanır. π_j yollarından $\rho_{11j} > 0.5$ sağlayan yollar π_{11} ile temsil edilir. $\rho_{11j} \leq 0.5$ olan yollar için yukarıdaki işlem tekrar edilir.

Böylece bu proses temsili yollar setini $\{\pi_1, \pi_{11}, \dots, \pi_N\}$ oluşturur.

- d) $T_1, T_2, \dots, T_n$ için uygun bir olasılık dağılımı kabulü yapılarak ve birinci adımla ikinci adımdaki ortalama ve varyans değerleri kullanılarak temsili yolların olasılıkları $P(T_1 \leq t), P(T_{11} \leq t), \dots, P(T_N \leq t)$ hesaplanır.

Son olarak proje tamamlanma olasılığı $p(t)$,

$$p(t) \cong P(T_1 \leq t) \cdot P(T_{11} \leq t) \cdot \dots \cdot P(T_N \leq t) \quad (4.20)$$

denklemini yardımıyla bulunabilir.

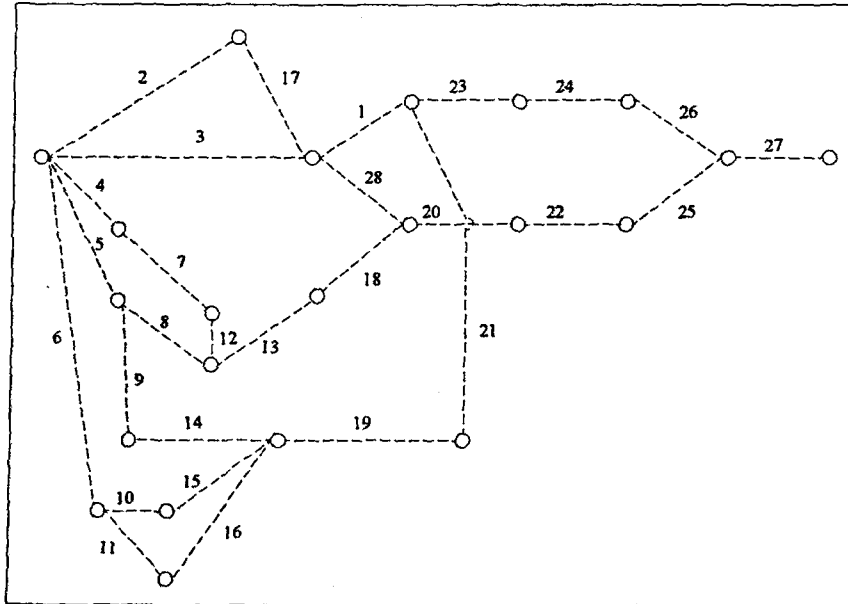
Eğer tüm temel yollar π_i ile hayli koreleyse (4.20) nolu denklem $p(t) \cong P(T_i \leq t)$ halini alır. Buda PERT yöntemi demektir.

Ferdi yolların olasılığı $P(T_i \leq t)$, T_i için normal (gaussian) dağılım kabulüyle hesaplanabilir. Bir yolda birden fazla aktivite varsa, yol süresi normal bir değişkenle meyillidir (central-limit teoremi yardımıyla). Üstelik $0.05 \leq p(t) \leq 0.95$ sınırları dahilinde, dağılımın hesaplanmış olasılıklar üzerinde çok fazla etkisi yoktur. Bu yüzden PNET yöntemi dağılım fonksiyonundan bağımsızdır. Dolayısıyla yöntem diğer dağılımlardada doğru sonuç verir.

4.4 PNET yönteminin asfaltlama projesine uygulanması

PNET yönteminin daha iyi anlaşılması için, yöntemin geliştiricisinin kullandığı sayısal bir örnek olarak yol asfaltlama projesi verilebilir; proje 2.2 mil uzunluğundaki bir yolun asfaltlama projesidir [9]. Proje, drenaj yapılarına ait konstrüksiyonu, yolun kazılarak düzeltilmesi gibi işleri içerir.

Projenin çeşitli aktiviteleri ve onlara ait ortalama süreleriyle standart sapma değerleri tablo (4.1)'de, proje şebeke planıysa şekil (4.1)'de gösterilmektedir. Bu şebekedeki dokuz yol ve onlara ait azalan şekilde sıralanmış ortalama süreleriyle standart sapma değerleriyse tablo (4.2)'de verilmektedir.



Şekil 4.1 Asfalt projesinin şebeke planı

Tablo 4.1 Asfalt projesinin aktiviteleri ve tahmini süreleri

AKTİVİTELERİN TANIMLANMASI	Ortalama süresi (gün)	Standart sapma (gün)
1. Yapay	0	0.0
2. Arazinin kısmi durumunun hazırlanması	2	0.5
3. Yol döşemede kullanılan malzemelerin düzenlenip kullanılacak yerlere dağıtımı	5	1.0
4. İki fiçı çapı genişliğinde su yolu hattının çekilmesi	6	1.5
5. Ekipmanların taşınması	3	0.5
6. Su toplama kutularının hattının çekilmesi	7	4.0
7. Su yolunun inşası	10	2.0
8. İstasyon 42'den 100'e kadar kazma ve temizleme	3	1.0
9. İstasyon 100'den 158'e kadar kazma ve temizleme	7	1.5
10. İstasyon 127'de su kutusu inşası	5	2.0
11. İstasyon 138'de su kutusu inşası	3	1.5
12. Su yolunun kuruması	9	2.0
13. İstasyon 42'den 100'e kadar artıkların temizlenmesi	5	1.5
14. İstasyon 100'den 158'e kadar temizlemeye başlama	3	0.5
15. İstasyon 127'deki su kutusunun hazır hale getirilmesi	9	4.5
16. İstasyon 138'deki su kutusunun hazır hale getirilmesi	6	2.0
17. Yol döşemede kullanılan malın stoklanması ve düzenlenmesi	2	0.5
18. İstasyon 42'den 100'e kadar yeraltı işlerinin yapılması	7	1.73
19. İstasyon 100'den 158'e kadar artıkların kaldırılması işleminin bitirilmesi	5	2.0
20. İstasyon 42'den 100'e kadar asfaltlama	10	2.0
21. İstasyon 100'den 158'e kadar yeraltı işlerinin yapılması	7	3.31
22. İstasyon 42'den 100'e kadar asfaltın servise hazır hale gelmesi	6	1.5
23. İstasyon 100'den 158'e kadar asfaltlama	10	4.5
24. İstasyon 100'den 158'e kadar asfaltın servise hazır hale gelmesi	6	1.5
25. İstasyon 42'den 100'e kadar banketlerin yerleştirilmesi	3	1.0
26. İstasyon 100'den 158'e kadar banketlerin yerleştirilmesi	3	1.0
27. Korkulukların yerleştirilmesi ve çevre düzenlemesi	5	1.5
28. Yapay	0	0.0

Bu örnek için, tablo (4.2)'deki ilk beş yol $p(t)$ 'nin tahmin edilmesinde yeterlidir. Bu beş yol proje şebekesinin temel yollarıdır.

Tablo 4.2 Asfalt projesinin yolları ve süre istatistikleri

YOL	YOL ÜZERİNDEKİ AKTİVİTELER	Ortalama süresi (gün)	Standart sapma (gün)
π_1	4, 7, 12, 13, 18, 20, 22, 25, 27 ...	61	5.0
π_2	6, 10, 15, 19, 21, 23, 24, 26, 27 ...	57	9.0
π_3	6, 11, 16, 19, 21, 23, 24, 26, 27 ...	52	7.94
π_4	5, 9, 14, 19, 21, 23, 24, 26, 27 ...	49	6.54
π_5	5, 8, 13, 18, 20, 22, 25, 27 ...	42	4.0
π_6	3, 28, 20, 22, 25, 25, 27 ...	29	3.27
π_7	3, 1, 23, 24, 26, 27 ...	29	5.19
π_8	2, 17, 28, 20, 22, 25, 27 ...	28	3.16
π_9	2, 17, 1, 23, 24, 26, 27 ...	28	5.12

(4.10) nolu denklemi kullanarak, aşağıda gösterildiği gibi, ilk beş temel yol arasından temsili yollar belirlenir. Bunun için ρ_{ii} korelasyonları hesaplanır.

$$\rho_{12}=0.05; \rho_{13}=0.06; \rho_{14}=0.07; \rho_{15}=0.74 \quad (4.21)$$

$\rho_{15}=0.74>0.5$ olduğundan dolayı π_5 yolu π_1 ile temsil edilir. π_2, π_3, π_4 yolları arasında tekrardan ρ_{ii} korelasyonları hesaplanır. Buradan $\rho_{23}=0.79$ ve $\rho_{24}=0.69$ korelasyon değerleri elde edilir. Her ikisinde 0.5 değerinden büyük olduğu için π_3 ve π_4 yolları π_2 yoluyla temsil edilir.

Böylece π_1 ve π_2 temsili yolları belirlenmiş olur. Projenin tamamlanma olasılığı $p(t)$, T_1 ve T_2 için normal dağılım kabulüyle

$$p(t) = P(T_1 \leq t) \cdot P(T_2 \leq t) = \Phi\left(\frac{t-61}{5}\right) \cdot \Phi\left(\frac{t-57}{9}\right) \quad (4.22)$$

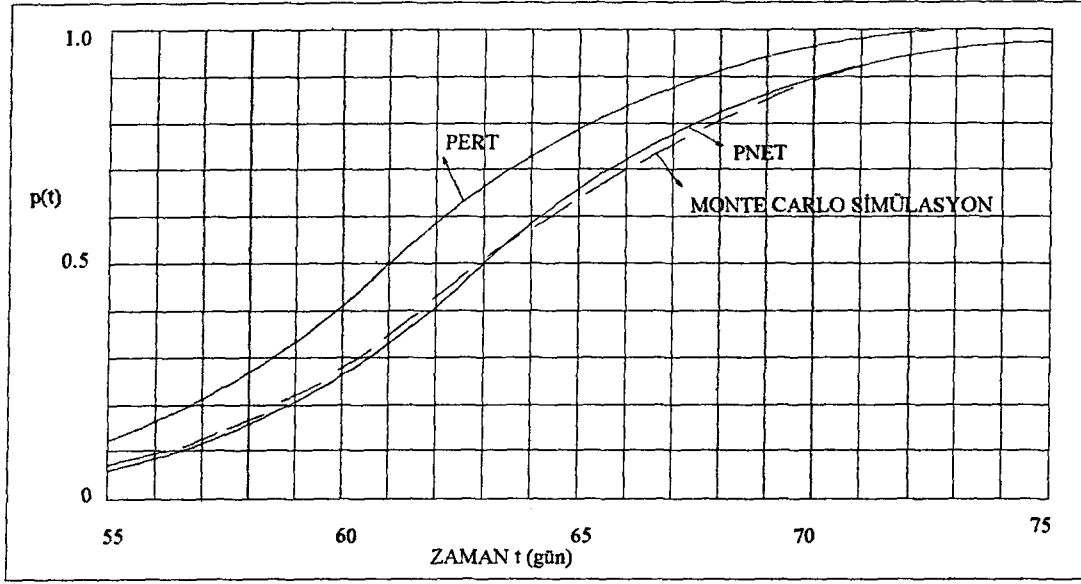
eşitliğinden bulunur. Burada $\Phi(.)$ standart normal dağılımın kümülatif olasılığıdır. $\Phi(.)$ değerleri Tablo 4.3'den faydalanılarak bulunur. Asfaltlama projesi örneğinde projenin 63 günde bitirilmesi olasılığı tablo 4.3'den

$$p(t) = \Phi\left(\frac{63-61}{5}\right) \cdot \Phi\left(\frac{63-57}{9}\right) = 0.6554 \cdot 0.7472 \cong 0.5 \quad (4.23)$$

olarak bulunur. $p(t)$ için bulunan değer şekil (4.2)'de tüm t 'ler için gösterilmektedir. Ayrıca şekil (4.2)'de PNET yönteminin sonuçlarıyla 1000 örnekli Monte Carlo simülasyonunun sonuçlarını karşılaştırma olanağı vardır. Bu şekilde $p(t)$ için PERT yöntemi sonuçlarında verilmektedir. Bu sonuçlardan görüldüğü üzere PERT yöntemi PNET yöntemine nazaran daha yüksek proje tamamlanma olasılığı değerleri verir. Örneğin şekil (4.2)'de, PNET yöntemi projenin %50 olasılıkla 63 günde tamamlanacağını gösterirken PERT yöntemi projenin %66 olasılıkla 63 günde bitirileceğini gösterir.

Tablo 4.3 Birim normal dağılımın tablo halinde gösterilmesi

$\frac{t-\mu}{\sigma}$	$\Phi\left(\frac{t-\mu}{\sigma}\right)$	$\frac{t-\mu}{\sigma}$	$\Phi\left(\frac{t-\mu}{\sigma}\right)$
0.0	0.5000	1.6	0.9452
0.1	0.5398	1.7	0.9554
0.2	0.5793	1.8	0.9641
0.3	0.6179	1.9	0.9713
0.4	0.6554	2.0	0.9772
0.5	0.6915	2.1	0.9821
0.6	0.7257	2.2	0.9861
0.7	0.7580	2.3	0.9893
0.8	0.7881	2.4	0.9918
0.9	0.8159	2.5	0.9938
1.0	0.8413	2.6	0.9953
1.1	0.8643	2.7	0.9965
1.2	0.8849	2.8	0.9974
1.3	0.9032	2.9	0.9981
1.4	0.9192	3.0	0.9987
1.5	0.9332		



Şekil 4.2 Asfalt projesinin tamamlanma zamanı olasılığı

BÖLÜM 5. GERT VE PNET YÖNTEMLERİNİN GEMİ İNŞAATINA UYGULANMASINA BİR ÖRNEK

GERT ve PNET yöntemleri gemi inşaatının bir aşaması olan çift dip imalatına uygulanacaktır. Bunun için çift dip imalatının beş safhadan meydana geldiği kabul edilecektir. Bu safhalar profil hazırlama, levha hazırlama, panel hattı, matris yapı imalatı ve bunların montajı safhalarıdır. Safhalar arasındaki ilişki şekil 5.1'de gösterilmektedir.

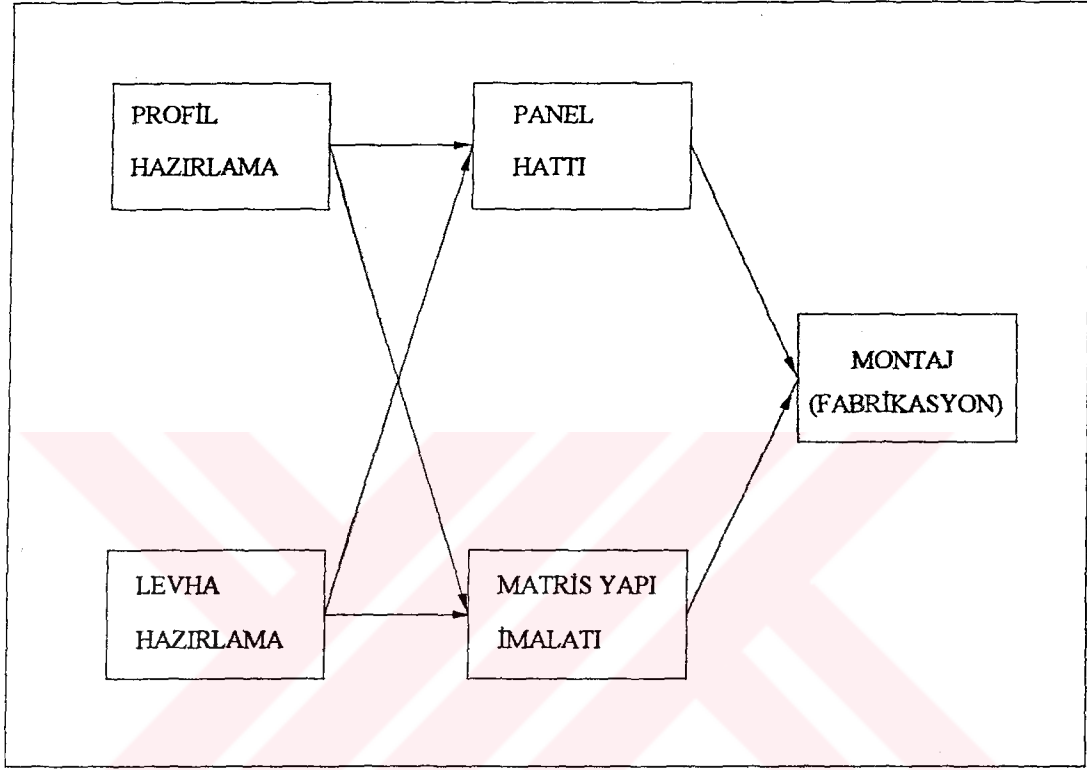
Sisteme profiller, levhalar ve eğrisel levhalar olmak üzere üç giriş vardır. Profiller profil hazırlama, levhalar ise levha hazırlama safhalarından geçtikten sonra panel hattı ve matris yapı imalatı safhalarındaki işlemlere geçilir. Bu dört safha tamamlandıktan sonra montaj safhasıyla birlikte çift dip imalatı tamamlanmış olur.

Profil hazırlama safhası, profillerin taşınması, düzeltilmesi, kesilmesi, uç hazırlanması, kalite kontrolünün(muayene) yapılması ve yeniden işlem(rework) görmesi vs. gibi aktiviteleri içerir.

Levha hazırlama safhası, levhaların taşınması, düzeltilmesi, 1/10 alevli, NC gaz veya plazma makinalarda kesilmesi, kesilen levhaların muayenesi ve gerekirse yeniden işlem görmesi vs. gibi aktiviteleri içerir.

Panel hattı safhası, profil ve levha hazırlama safhalarından gelen parçaların montajını içerir. Bu safhada, levha hazırlama safhasından gelen levhalar kaynatılır. Kaynatılan bu levhaların üzerine, profil hazırlama safhasından gelen profiller önce puntalanır daha sonra kaynatılır.

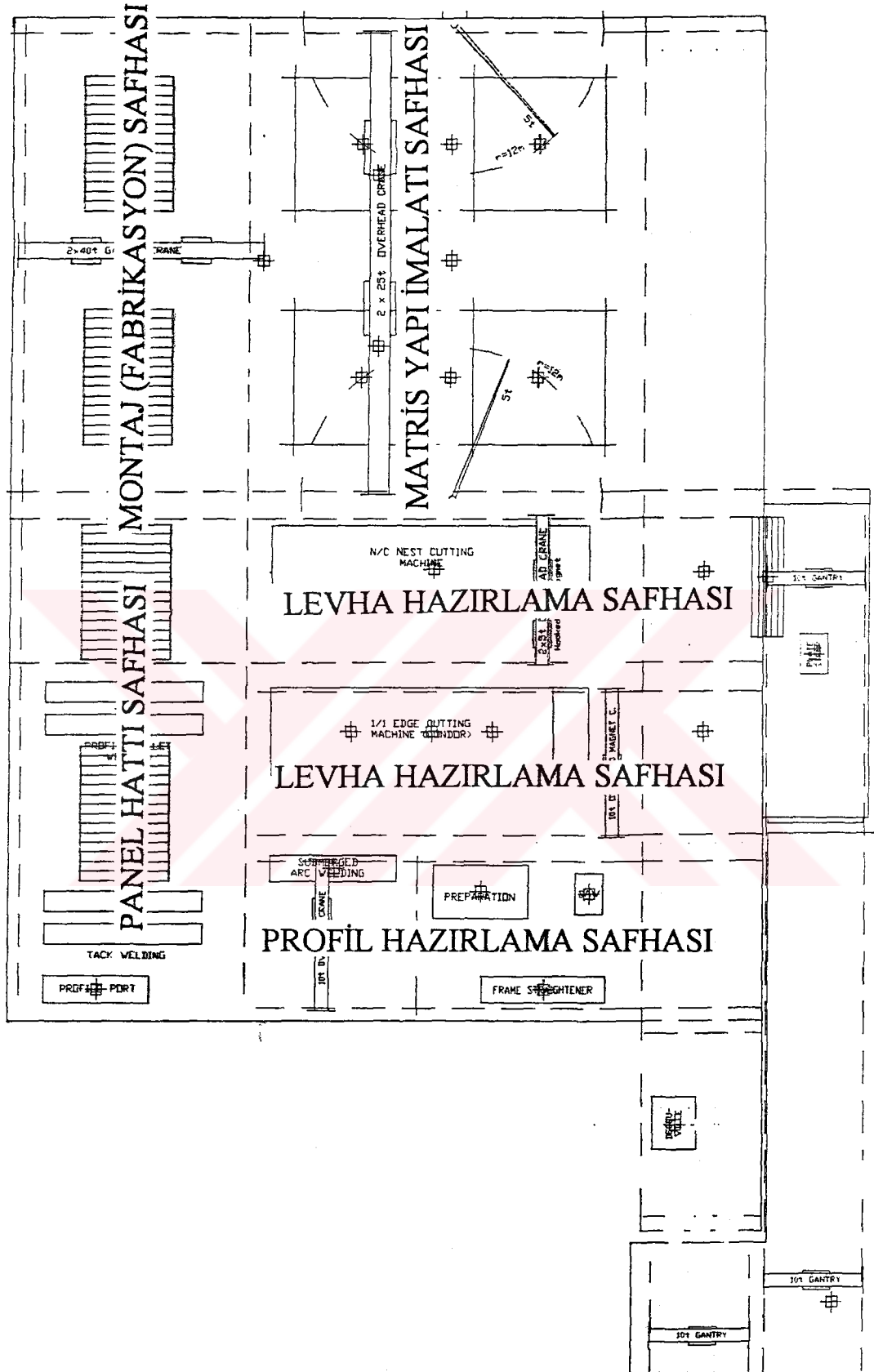
Matris yapı imalatı safhası ise, çift dip imalatı safhalarının en karmaşık ve en zahmetli olanıdır. Çift dip yapıdaki görder ve döşeklerin imalatı bu safhada gerçekleştirilir. Son iki safhadan çıkan ürünlerin montajı ile çift dip imalatı tamamlanır. Bu safhalara ait detaylı bilgi, safhaların sistem analizleri içinde aşağıda verilmektedir.



Şekil 5.1 Çift dip imalatını oluşturan safhalar

Çift dip imalatında tüm aktivitelerin yerine getirilmesi için sistemin makineler ve taşıyıcılara ihtiyacı vardır. Bunların sistemin kaynaklarıdır. Her safhaya ait bu kaynaklar tablo 5.1'de gösterilmektedir.

Sistemin kaynakları olan makinelerin ve taşıyıcıların atölye içindeki konumları Şekil 5.2'de verilmektedir. Bu şekilde ayrıca safhaların gerçekleştirildiği bölümler de gösterilmektedir.



Şekil 5.2 Sistem kaynaklarının atölye içindeki konumları

Çift dip imalatı sistemi, profil hazırlama ve levha hazırlama safhaları tarafından beslenmektedir. Sistemin safhalarına giren ve çıkan elemanlar Tablo 5.2'de gösterilmektedir. Tablo 5.2'de bir kodlama sistemi (F, C, D, ... vs.) kullanılmaktadır. Bu kodlama sistemi gemi inşaatında üretim kademelerini gösterir. Tabloda görülen F01 veya C03 gibi kodlama, imalatı yapılacak olan çift dip bloğu içindir. Yani F, C, D gibi kodlar global, F01 veya C03 ile belirtilen kodlar ise lokaldir. Örneğin; F kodlaması, stifner veya tülani elemanların düz panele montajından oluşan iş kademesini gösterirken F01 kodlaması, (a*b*c) br.³ boyutlarındaki levhalarla (d) br. boyutlarındaki profillerin montajını gösterir.

Tablo 5.1. Çift dip imalatında kullanılan kaynaklar

SAFHA	MAKİNELER	TAŞIYICILAR
PROFİL HAZIRLAMA	Kesme Markalama ve uç hazırlama Düzeltilme	Gantry kreyn (10t) Overhead kreyn (10t) Decouville
LEVHA HAZIRLAMA	1:10 alevli kesme ve markalama NC gaz veya plazma kesme Düzeltilme	Gantry kreyn (10t) Decouville Overhead magnet kreyn (10t) Overhead kreyn (2x5t)
PANEL HATTI	Otomatik düz kaynak Stifner bağlama gantry (x2) Stifner kaynak gantry (x2)	Overhead kreyn (10t) Bant
MATRİS YAPI İMALATI	Elektrik ark kaynağı (x2) Gaz eritme kaynağı (x20)	Overhead kreyn (2x25t) Boom kreyn (5t x2)
MONTAJ	Elektrik ark kaynağı (x2) Gaz eritme kaynağı (x18)	Gantry kreyn (2x40t)

Tablo 5.2'deki levha hazırlama A= 2 adet (9.8*2.87) & 2 adet (9.8*1.77) & 4 adet (9.8*2.47) & 1 adet (9.8*1.78) & 3 adet (9.8*2.45) ve levha hazırlama B= 5 adet (9.8*1.26) & 32 adet (2.572*1.26) & 16 adet (1.284*1.26) & 2 adet (9.8*1.26) & 32 adet 1.26 yarıçaplı 1/4 daire dilimi olarak tanımlanır. Tablo 5.2'den görüleceği üzere E (düz panel) ve F (elemanlı düz panel) tipi kodlama panel hattı safhasının çıktılarını, C (küçük grup) ve D

(alt grup) tipi kodlamalar ise matris yapı imalatı safhasının çıktılarını gösterir. G (gruplu panel), J (alt blok) ve K (blok) tipi kodlamalarda son safha olan montaj (fabrikasyon) safhasının çıktılarıdır.

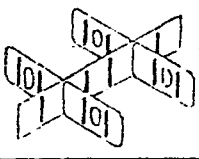
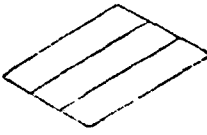
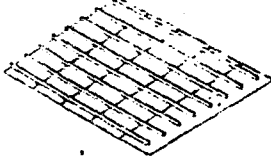
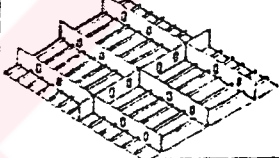
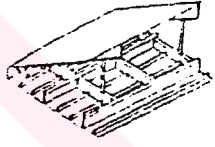
Tablo 5.2. Çift dip imalatını oluşturan safhalara giren elemanlar ve çıkan ürünler

SAFHA	GİRİŞ	ARA ÇIKIŞ	ÇIKIŞ
PROFİL HAZIRLAMA	46 adet 12 m'lik profiller		28 adet 9.8 m'lik profiller 144 adet 1.2 m'lik pofiller
LEVHA HAZIRLAMA	12 adet (3*10) levhalar 13 adet (3*10) levhalar		- Levha hazırlama A - Levha hazırlama B
PANEL HATTI	28 adet 9.8 m'lik profiller - Levha hazırlama A	1 adet E01 1 adet E03	1 adet F01 1 adet F03
MATRİS YAPI İMALATI	144 adet 1.2 m'lik profiller - Levha hazırlama B	1 adet C01 2 adet C03 16 adet C05	1 adet D01 2 adet C03 32 adet C22 - D02 & D03
MONTAJ	1 adet F03 1 adet F01 1 adet D01 2 adet C03 32 adet C22 - D02 & D03 2 adet (9.8*2.47) eğrisel levha	- G01 - J01	K01

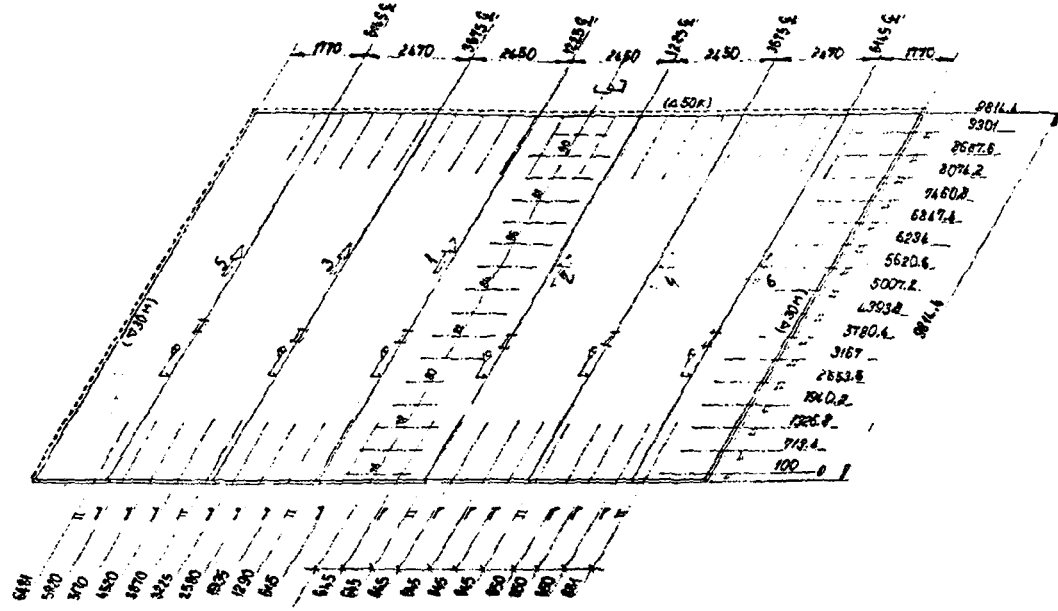
Burada tanımlanan bu kodlama sistemindeki global kodlama şekil 5.3'de, lokal kodlamalar ise şekil 5.4 - şekil 5.16 arası sırayla verilmektedir.

5.1 Çift dip imalatında yapılan kabuller

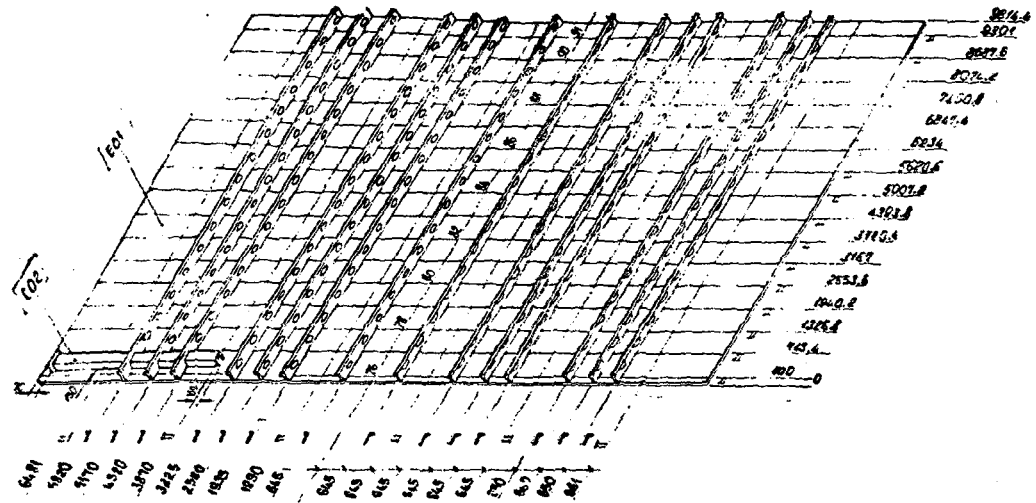
1. Montaj safhasında K01 imalatında kullanılan eğrisel levhalar sisteme hazır gelir.
2. Sistem günde kesintisiz 9 saat çalışmaktadır.
3. Sistemdeki kaynakların (makineler, taşıyıcılar) sayıları üretim boyunca sabittir.
4. Sisteme profil ve levha girdileri öbekler halindedir.
5. Kreynle bir elemanın taşınmasında geçen süre, o elemanın bağlanması, kaldırılması, yatay götürülmesi, indirilmesi ve çözülmesi için gerekli sürelerin toplamıdır.
6. Çift dip imalatı sadece bir çift dip bloğu için düşünüldüğünden $t=0$ anında tüm ara stoklar, makine önleri ve taşıyıcılar boştur.
7. Atölye içi yerleşimin ve sistem kaynaklarının bize gösterdiği kolaylıklardan ötürü üretim başladıktan sonra herhangi bir t anında panel hattı safhasıyla matris yapı imalatı safhası aynı anda gerçekleştirilebilir. Yani panel hattı safhasıyla matris yapı imalatı safhası paralel yürüyen safhalardır. Ayrıca matris yapı imalatı safhasındaki C01, C03, C22, C05 ve D02 imalatları da paralel giden işlerdir. Panel hattı safhasındaysa, F01 ve F03 imalatları seri imalatlar olmasına karşın önce F01 bitirilmelidir.
8. Profil hazırlama ve levha hazırlama safhalarından sonraki safhalarda rework süreleri muayene sürelerinin içine katılmıştır.

MINOR ASSEMBLY (KÜÇÜK GRUP) Bir adet tek levha (B) ile bir veya birden fazla tek profilden (A) oluşan, boyutları belirlil iş kademesi.	D	
SUB ASSEMBLY (ALT GRUP) Bir veya birden fazla küçük grubun tek profil ve/veya tek levhalar ile birleşmesinden oluşan iş kademesi.	D	
FLAT PLATE ASSEMBLY (DÜZ PANEL) İki veya daha fazla levhanın kaynak ile birleştirilmesinden oluşan iş kademesi.	E	
FLAT PANEL ASSEMBLY (ELEMANLI DÜZ PANEL) Stifner veya tülani elemanların düz panela montajından oluşan iş kademesi.	F	
MAJOR SUB ASSEMBLY (GRUPLU PANEL) Düz panel, (eğimli panel) veya gruplar ve elemanların birleşmesinden oluşan iş kademesi.	G	
SUB UNIT ASSEMBLY (ALT BLOK) Bir düz veya eğimli panel ile birleştirilerek gruplu panelin oluşturduğu iş kademesi.	J	
UNIT ASSEMBLY (BLOK) Birden fazla iş kademesinin biraraya gelerek oluşturduğu kızak üstü montajdan önceki son iş kademesi.	K	

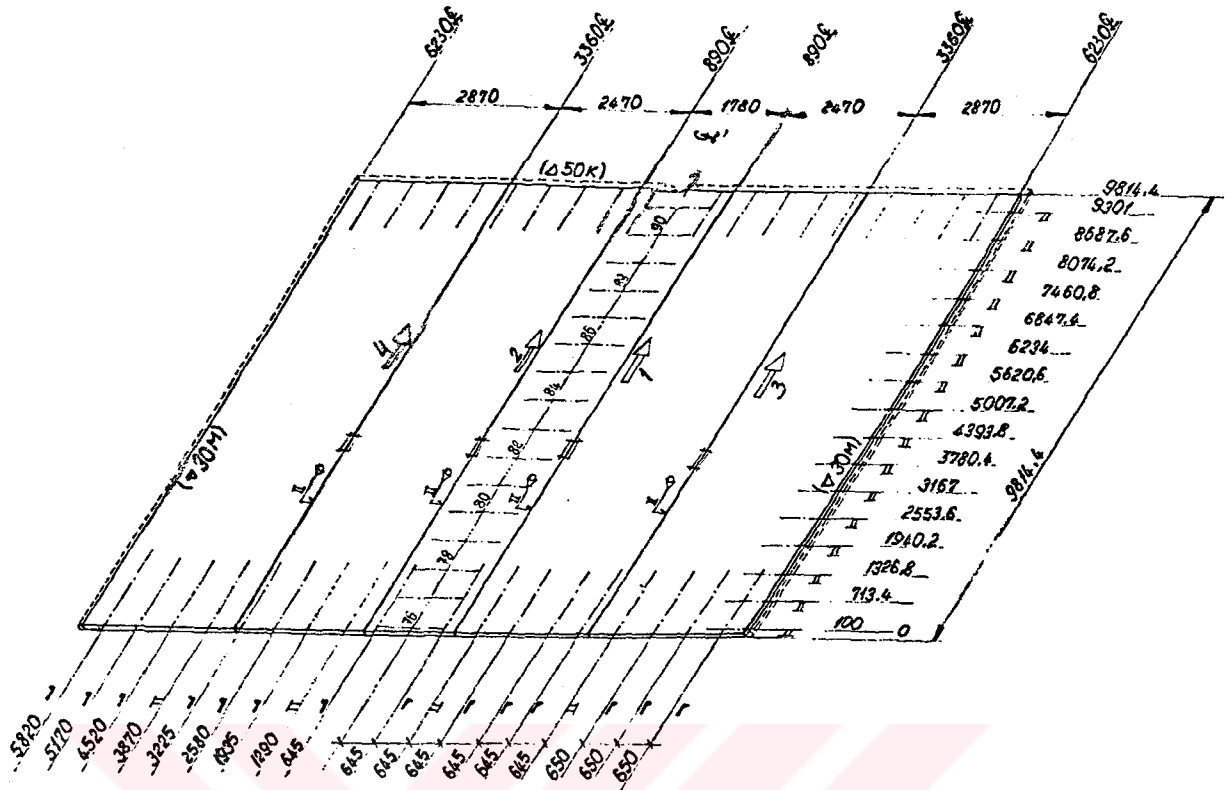
Şekil 5.3 Çelik tekne analiz ve üretim kademeleri



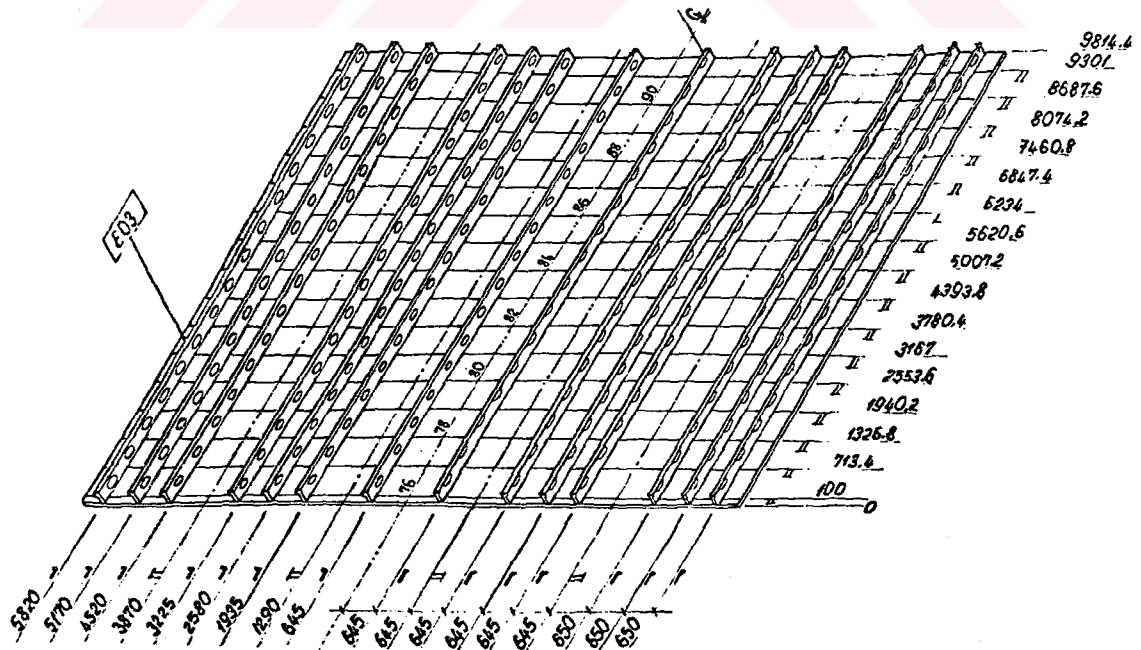
Şekil 5.4 E01 kodlamasına ait işçilik resmi



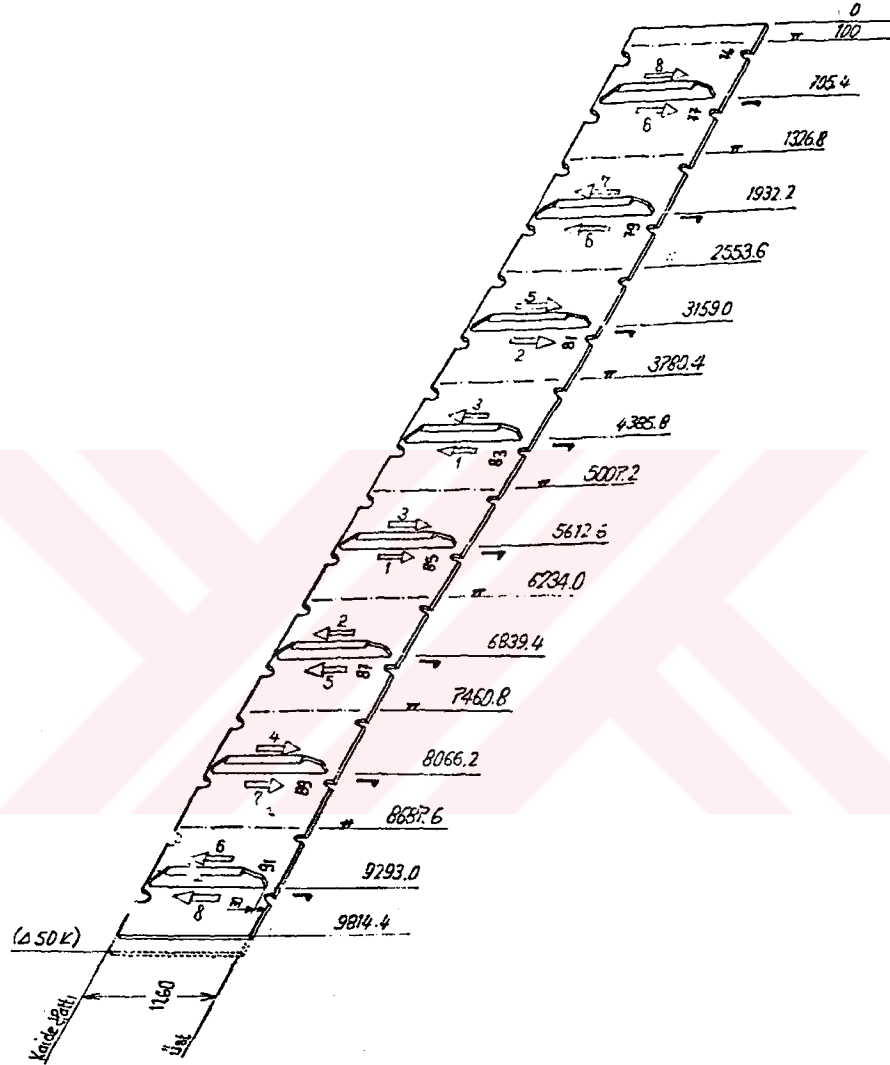
Şekil 5.5 F01 kodlamasına ait işçilik resmi



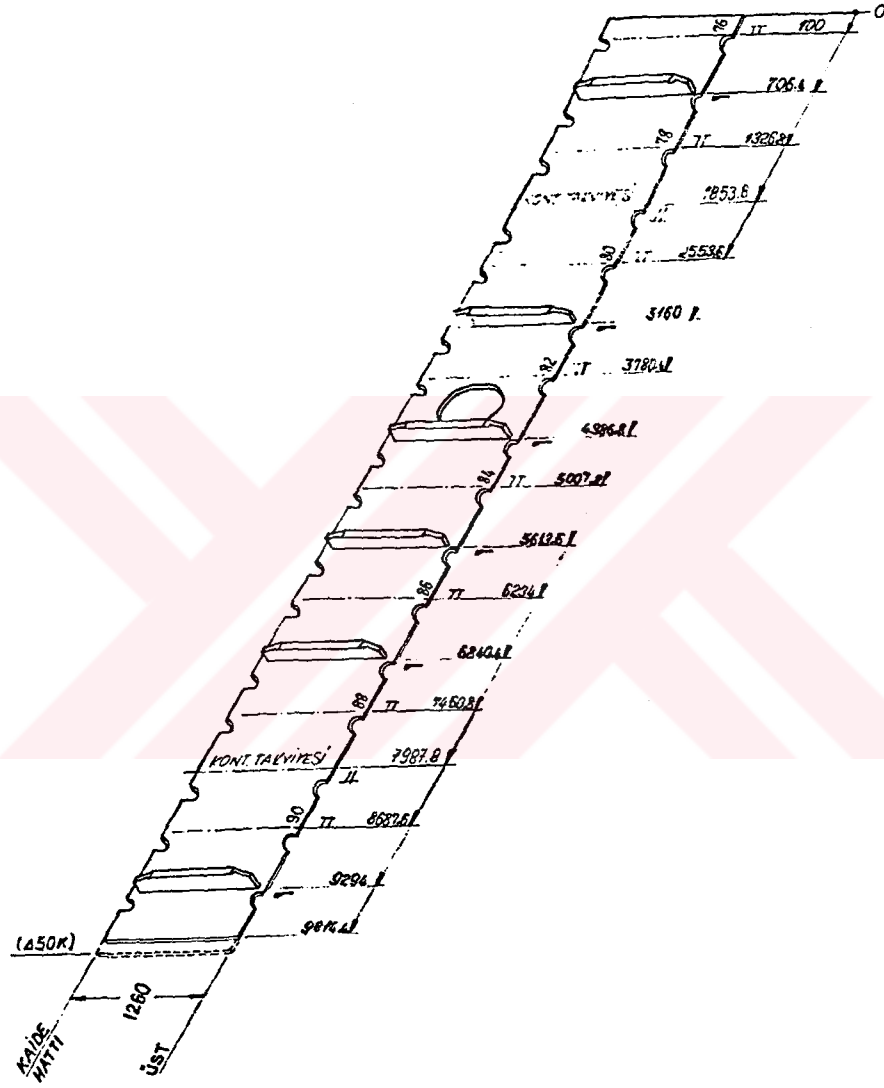
Şekil 5.6 E03 kodlamasına ait işçilik resmi



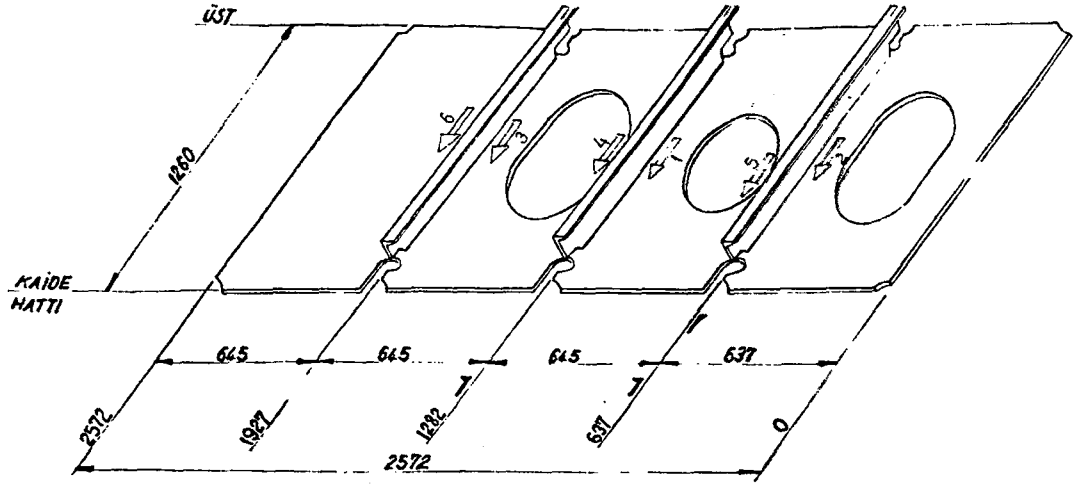
Şekil 5.7 F03 kodlamasına ait işçilik resmi



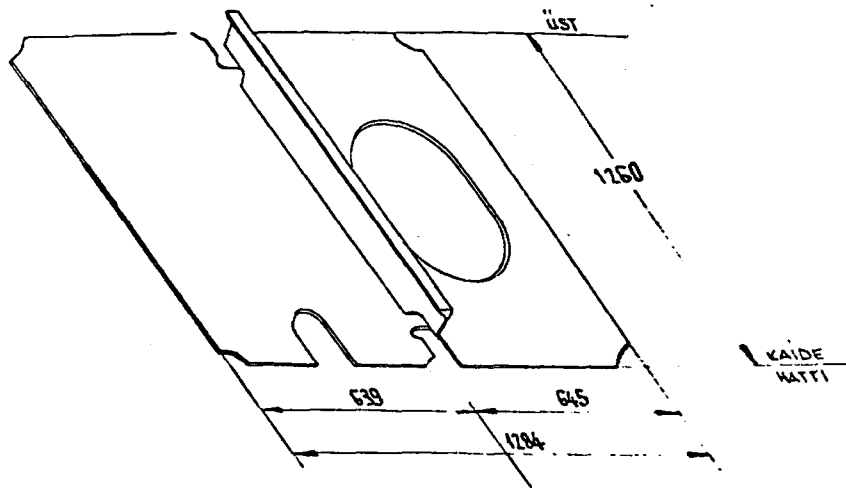
Şekil 5.8 C01 kodlamasına ait işçilik resmi



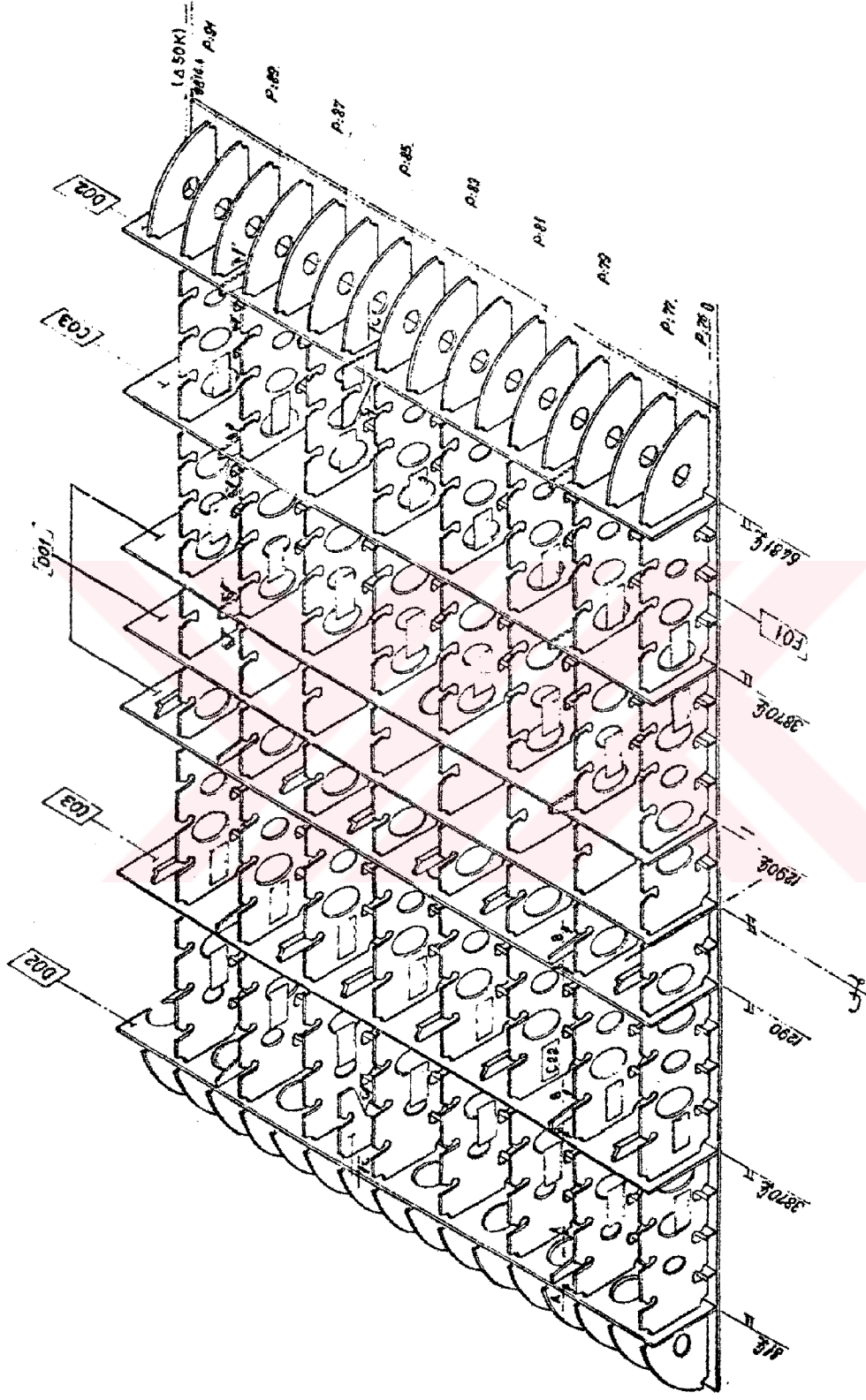
Şekil 5.9 C03 kodlamasına ait işçilik resmi



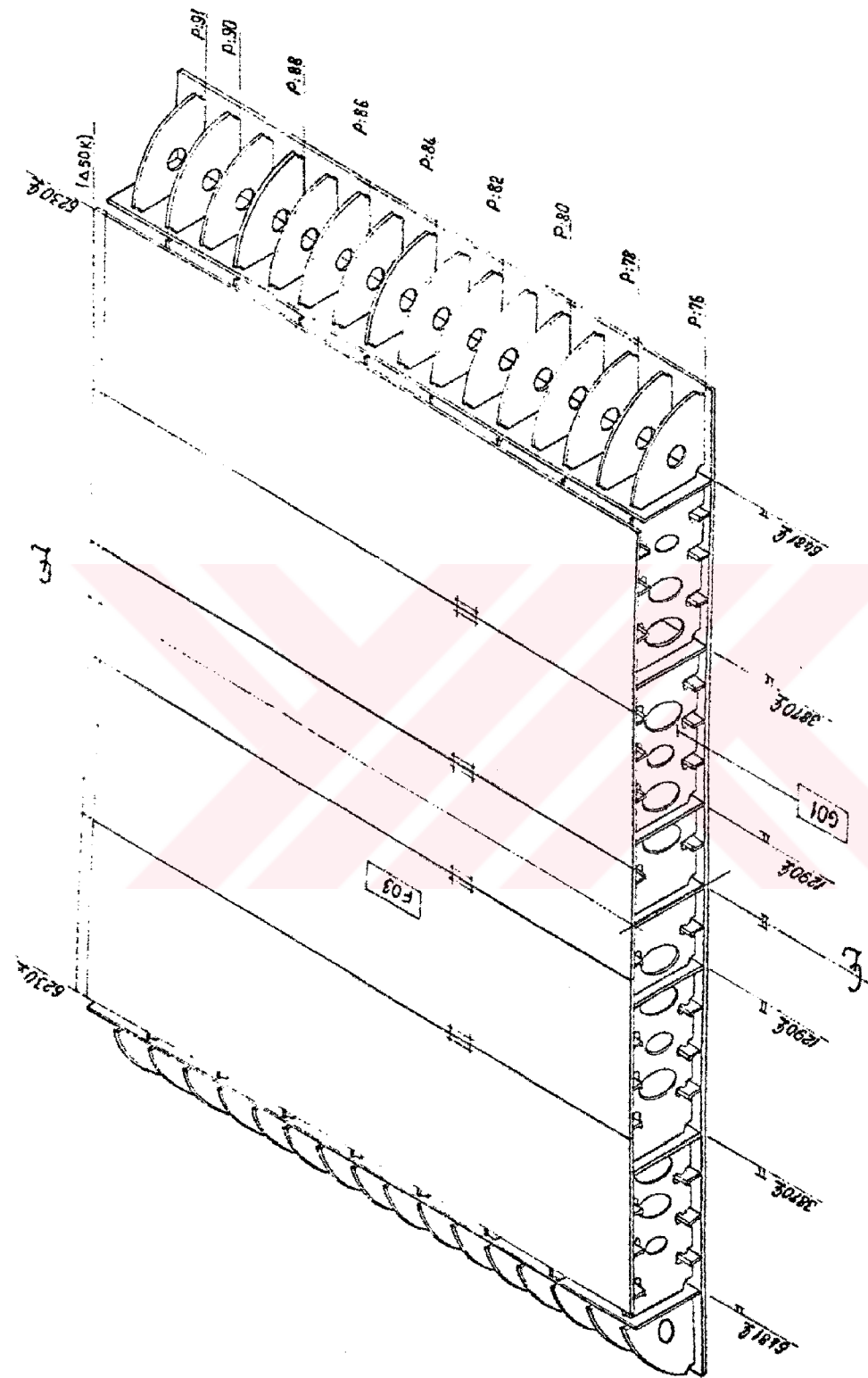
Şekil 5.10 C22 kodlamasına ait işçilik resmi



Şekil 5.11 C05 kodlamasına ait işçilik resmi



Şekil 5.14 G01 kodlamasına ait işçilik resmi



Şekil 5.15 J01 kodlamasına ait işçilik resmi

5.2 Projeye ait GERT ve PNET modellerinin kurulması

Çift dip imalatının sadece tek bir çift dip bloğu için yapılacağı düşünülecektir [11]. Ayrıca çift dip imalatının beş safhadan oluştuğu kabul edilecektir. Yani bir safhanın çıktısı diğer bir safhanın girdisi olarak kabul edilecektir.

Çift dip imalatının GERT şebeke planı EXOR ve AND tipi düğümlerden kurulacaktır. AND düğüm tipi özelliği itibarı ile tüm montaj aşamalarında kullanılacaktır. GERT modelindeki aktivitelerin hepsi normal (gaussian) dağılıma, sadece rework aktivitelerinin eksponansiyel dağılıma sahip olduğu kabul edilecektir.

PNET modelinde ise aktivitelerle ait standart sapma değerleri, aktivitelerle ait ortalama (mean) değerlerinin %10'u kabul edilecektir. PNET modelinde tüm aktiviteler normal dağılıma sahiptir.

5.2.1 Profil hazırlama safhası

Profil stok sahasından alınan profiller, profil hazırlama atölyesine girmeden önce bir ara stoğa getirilir. Ara stoğa getirilen profiller %6 olasılıkla düzeltmeye ve sonra kesmeye veya %94 olasılıkla doğrudan kesmeye giderler. Kesmeye gelen profillerin %60'ı 9.8 m'lik, %40'ı 1.2 m'lik olarak kesilir. 9.8 m'lik kesilen profillerin her birine 16 delik açılır. 1.2 m'lik kesilen profillerin her birinin iki ucu hazırlanır.

Kesilen profiller muayeneye tabi tutulur. Bir kısmı %10 olasılıkla rework işlemine tabi tutulur, bir kısmı %2 olasılıkla ıskartaya çıkar, geri kalanı ise %88 olasılıkla bir sonraki aktivite (uç hazırlama veya delik açma) için taşınırlar.

Delik açmaya tabi tutulan profiller (9.8 m) yine önce muayeneye, daha sonra %10 olasılıkla rework işlemine tabi tutulur veya %2 olasılıkla ıskartaya çıkar. Geri kalanlar ise %88 olasılıkla panel hattı safhasına gitmek üzere bir ara stoğa getirilir. Ara stoğa getirilen profillerin %50'si F03 ve %50'si F01 imalatı için panel hattı safhasına taşınırlar.

Uç hazırlamaya tabi tutulan profiller (1.2 m) yine önce muayeneye, daha sonra %10 olasılıkla rework işlemine tabi tutulur veya %2 olasılıkla ıskartaya çıkar. Geri kalanlar ise %88 olasılıkla matris yapı imalatı safhasına gitmek üzere bir ara stoğa getirilir. Ara stoğa getirilen profillerin %5.55'i C01, %16.67'si C03, %66.67'si C22, %11.11'i C05 imalatı için matris yapı imalatı safhasına taşınırlar. Şekil 5.17 ve şekil 5.18'de sırasıyla profil hazırlama safhasına ait GERT ve PNET şebekeleri gösterilmektedir.

Profil hazırlama safhasındaki aktiviteler, aktivitelerin hangi düğümler arasında gerçekleştiği, aktivitelerin gerçekleşme olasılıkları, aktivitelerin ortalama ve standart sapma değerleri ve aktivitelerin sahip oldukları dağılımlar tablo 5.3 ve tablo 5.4'de gösterilmektedir. Tablo 5.3'deki bilgiler 1.2 m olarak kesilen profillere, tablo 5.4'deki bilgiler 9.8 m olarak kesilen profillere aittir. Her iki tablodaki değerler tek bir profil (12 m) içindir.

Tablo 5.3 Profil (1.2 m) hazırlama safhasına ait bilgiler

AKTİVİTE	DÜĞÜMLER ARASI	OLASILIĞI	ORTALAMA (SAAT)	STANDART SAPMA (SAAT)
Taşıma	1-2	1	0.2	0.02
Taşıma	2-3	0.06	0.04	0.004
Düzeltilme	3-4	1	0.065	0.0065
Taşıma	4-5	1	0.04	0.004
Taşıma	2-5	0.94	0.04	0.004
Kesme	5-7	0.40	0.36	0.036
Muayene	7-9	1	0.25	0.025
Rework	9-9	0.1	0.045	0.0045
Taşıma	9-11	0.88	0.04	0.004
Uç hazırlama	11-13	1	0.9	0.09
Muayene	13-15	1	0.025	0.0025
Rework	15-15	0.1	0.045	0.0045
Taşıma	15-17	0.88	0.04	0.004
Taşıma	17-47	0.0555	0.04	0.004
Taşıma	17-48	0.1667	0.04	0.004
Taşıma	17-49	0.6667	0.04	0.004
Taşıma	17-50	0.1111	0.04	0.004

Tablo 5.4 Profil (9.8 m) hazırlama safhasına ait bilgiler

AKTİVİTE	DÜĞÜMLER ARASI	OLASILIĞI	ORTALAMA (SAAT)	STANDART SAPMA (SAAT)
Taşıma	1-2	1	0.2	0.02
Taşıma	2-3	0.06	0.04	0.004
Düzeltilme	3-4	1	0.065	0.0065
Taşıma	4-5	1	0.04	0.004
Taşıma	2-5	0.94	0.04	0.004
Kesme	5-6	0.60	0.045	0.0045
Muayene	6-8	1	0.025	0.0025
Rework	8-8	0.1	0.045	0.0045
Taşıma	8-10	0.88	0.04	0.004
Delik açma	10-12	1	0.32	0.032
Muayene	12-14	1	0.025	0.0025
Rework	14-14	0.1	0.045	0.0045
Taşıma	14-16	0.88	0.04	0.004
Taşıma	16-41	0.50	0.04	0.004
Taşıma	16-42	0.50	0.04	0.004

5.2.2 Levha hazırlama safhası

Levha stok sahasından alınan levhalar, kesmeye gönderilmek üzere bir ara stoğa taşınırlar. Ara stoğa getirilen levhalar %48 olasılıkla 1:10 kesmeye, %52 olasılıkla nümerik kesmeye giderler.

1:10 kesilen levhalar önce muayeneye tabi tutulur. Daha sonra %1 olasılıkla rework işlemine tabi olur, %99 olasılıkla panel hattı safhasına taşınırlar. 1:10 kesilen levhalara ait bilgiler tablo 5.5'de verilmektedir. Bu tablodaki değerler iki levha için olup, panel hattı safhasının ilk aşamaları (E01 ve E03) databloya dahil edilmiştir.

Nümerik kesmeye gelen levhalar, %7.7 olasılıkla C01'in, %15.4 olasılıkla C03'ün, %46.1 olasılıkla C22'nin, %15.4 olasılıkla C05'in, (%7.7 + %7.7) olasılıkla D02'nin levhalarının nümerik kesmelerine ayrılırlar. Tüm nümerik kesilen levhalar muayene olurlar. Daha sonra %0.5 olasılıkla rework işlemine tabi tutulurlar, son olarakda %99.5 olasılıkla matris yapı imalatı safhasına taşınırlar. Nümerik kesilen levhalara ait bilgiler tablo 5.6'da verilmektedir. Bu tablodaki değerler tek levha içindir. Tablo 5.5 ve tablo 5.6'daki kesme zamanlarına markalama zamanları dahildir. Ayrıca levha hazırlama safhasına ait GERT ve PNET şebeke planları sırasıyla şekil 5.19 ve şekil 5.20'de gösterilmektedir.

Tablo 5.5 Levha (1:10 kesilen) hazırlama safhasına ait bilgiler

AKTİVİTE	DÜĞÜMLER ARASI	OLASILIĞI	ORTALAMA (SAAT)	STANDART SAPMA (SAAT)
Taşıma	18-19	1	0.1	0.01
Taşıma	19-20	0.48	0.05	0.005
Markalama ve 1:10 kesme	20-22	1	1.5	0.15
Muayene	22-29	1	0.03	0.003
Rework	29-29	0.01	0.05	0.005
Taşıma	29-36	0.99	0.05	0.005
Kaynak (E03)	36-37	0.42	0.41	0.041
Muayene	37-39	1	0.02	0.002
Taşıma	39-41	1	0.05	0.005
Kaynak (E01)	36-38	0.58	0.41	0.041
Muayene	38-40	1	0.02	0.002
Taşıma	40-42	1	0.05	0.005

5.2.3 Panel hattı safhası

1:10 kesilen levhalar %42 olasılıkla E03 imalatı, %58 olasılıkla E01 imalatı için ayrılırlar. Daha sonra muayene olan E03 ve E01 ürünleri, F03 ve F01 imalatı için panel hattı safhasındaki bantlar üzerine taşınırlar. Burada, profil hazırlama safhasından çıkan 9.8 m'lik profillerle kaynatılarak F03 ve F01 imalatı tamamlanır. F03 ve F01 ürünleri muayene olduktan sonra montaj (fabrikasyon) safhasına taşınırlar. Burada önemli bir nokta; ilk önce F01'in bitirilmesi gerekliliğidir. Çünkü montaj safhasının ilk ürünü olan G01, F01 üzerine inşa edilmektedir.

Panel hattı safhasına ait bilgiler tablo 5.7'de, ayrıca panel hattı safhasına ait GERT ve PNET şebeke planları da sırasıyla şekil 5.21 ve şekil 5.22'de gösterilmektedir.

Tablo 5.6 Levha (nümerik kesilen) hazırlama safhasına ait bilgiler

AKTİVİTE	DÜĞÜMLER	OLASILIĞI	ORTALAMA (SAAT)	STANDART SAPMA (SAAT)
	ARASI			
Taşıma	18-19	1	0.1	0.01
Taşıma	19-21	0.52	0.05	0.005
Markalama ve NC	21-23	0.077	1.56	0.156
Muayene	23-30	1	0.078	0.0078
Rework	30-30	0.005	0.03	0.003
Taşıma	30-47	0.995	0.2	0.02
Markalama ve NC	21-24	0.154	1.63	0.163
Muayene	24-31	1	0.08	0.008
Rework	31-31	0.005	0.03	0.003
Taşıma	31-48	0.995	0.2	0.02
Markalama ve NC	21-25	0.461	0.68	0.068
Muayene	25-32	1	0.04	0.004
Rework	32-32	0.005	0.134	0.0134
Taşıma	32-49	0.995	0.2	0.02
Markalama ve NC	21-26	0.154	0.34	0.034
Muayene	26-33	1	0.017	0.0017
Rework	33-33	0.005	0.007	0.0007
Taşıma	33-50	0.995	0.2	0.02
Markalama ve NC	21-27	0.077	0.22	0.022
Muayene	27-34	1	0.01	0.001
Rework	34-34	0.005	0.004	0.0004
Taşıma	34-51	0.995	0.2	0.02
Markalama ve NC	21-28	0.077	1.56	0.156
Muayene	28-35	1	0.078	0.0078
Rework	35-35	0.005	0.03	0.003
Taşıma	35-51	0.995	0.2	0.02

5.2.4 Matris yapı imalatı safhası

Bu safha görder (C01, C03), döşek (C22,C05) ve matris yapı (D01,D02) imalatlarının gerçekleştirildiği safhadır.

C01 imalatı, nümerik kesilen levha (9.8*1.26) ile 1.2 m olarak kesilen profillerin kaynatılmasıdır. Daha sonra muayene olan C01 ürünü D01 imalatı için taşınır.

Tablo 5.7 Panel hattı safhasına ait bilgiler

AKTİVİTE	DÜĞÜMLER ARASI	OLASILIĞI	ORTALAMA (SAAT)	STANDART SAPMA (SAAT)
Kaynak (F03)	41-43	1	14.78	1.478
Muayene	43-45	1	2.96	0.296
Taşıma	45-69	1	0.3	0.03
Kaynak (F01)	42-44	1	14.78	1.478
Muayene	44-46	1	2.96	0.296
Taşıma	46-65	1	0.3	0.03

C03 imalatı, nümerik kesilen levha (9.8*1.26) ile 1.2 m olarak kesilen profillerin kaynatılmasıdır. Daha sonra muayene olan C03 ürünü, %50 olasılıkla D01 imalatına, %50 olasılıkla montaj safhasına taşınır. C03 ürününden 4 adet imal edilir.

C22 imalatı, nümerik kesilen levha (2.572*1.26) ile 1.2 m olarak kesilen profillerin kaynatılmasıdır. Daha sonra muayene olan C22 ürünü montaj safhasına taşınır. C22 ürününden 32 adet imal edilir.

C05 imalatı, nümerik kesilen levha (1.284*1.26) ile 1.2 m olarak kesilen profillerin kaynatılmasıdır. Daha sonra muayene olan C05 ürünü D01 imalatı için taşınır. C05 ürününden 16 adet imal edilir.

D02 imalatı, nümerik kesilen 16 adet levhalar (1.26 m yarıçaplı 1/4 daire dilimi) ile yine nümerik kesilen levha (9.8*1.26) ile kaynatılır. Daha sonra muayene olan D02 ürünü montaj safhasına taşınır. D02 ürününden iki adet imal edilir.

D01 imalatı, 1 adet C01, 2 adet C03 ve 16 adet C05 ürünlerinin kaynatılmasıdır. Daha sonra muayene olan D01 ürünü montaj safhasına taşınır.

Matris yapı imalatı safhasına ait aktiviteler ve onlarla ilişkili bilgiler tablo 5.8'de verilmektedir. Bununla beraber safhanın GERT ve PNET şebeke planları sırasıyla şekil 5.23 ve şekil 5.24'de gösterilmektedir. Tablo 5.8'de görülen C01,C03,C22,C05 ve D02'ye ait değerler bunların birer adedi için verilmektedir.

Tablo 5.8 Matris yapı imalatı safhasına ait bilgiler

AKTİVİTE	DÜĞÜMLER	OLASILIĞI	ORTALAMA	STANDART
	ARASI		(SAAT)	SAPMA (SAAT)
Kaynak (C01)	47-52	1	2.91	0.291
Muayene	52-57	1	0.582	0.0582
Taşıma	57-62	1	0.25	0.025
Kaynak (C03)	48-53	1	2.182	0.2182
Muayene	53-58	1	0.436	0.0436
Taşıma	58-62	0.5	0.25	0.025
Taşıma	58-65	0.5	0.25	0.025
Kaynak (C22)	49-54	1	0.8727	0.08727
Muayene	54-59	1	0.1745	0.01745
Taşıma	59-65	1	0.25	0.025
Kaynak (C05)	50-55	1	0.29	0.029
Muayene	55-60	1	0.058	0.0058
Taşıma	60-62	1	0.25	0.025
Kaynak (D02)	51-56	1	5.5	0.55
Muayene	56-61	1	1.1	0.11
Taşıma	61-65	1	0.42	0.042
Kaynak (D01)	62-63	1	9.63	0.963
Muayene	63-64	1	1.926	0.1926
Taşıma	64-65	1	0.42	0.042

5.2.5 Montaj (fabrikasyon) safhası

Montaj safhası, çift diğ imalatının son safhasıdır ve bu safhayla çift dip imalatı tamamlanır. Montaj safhasında ilk önce G01 imalatı gerçekleştirilir.

G01 imalatı, bir adet D01, 2 adet C03, 32 adet C22 ve 2 adet D02 matris yapı imalatı safhası ürünleriyle 1 adet F01 panel hattı safhası ürününün kaynatılmasıdır. Daha sonra muayene olan G01 ürünü J01 imalatı için taşınır.

J01 imalatı, G01 ürünüyle 1 adet F03 panel hattı safhası ürününün kaynatılmasıdır. Daha sonra muayene olan J01 ürünü, K01 imalatı için taşınır.

K01 imalatı, çift dip imalatının son aşaması ve son ürünüdür. Bu imalat, J01 ürünüyle sisteme dışarıdan hazır gelen eğrisel levhaların kaynatılmasıdır. K01 ürünü, yani çift dip bloğu son olarak muayeneye tabi tutulur ve çift dip imalatı tamamlanmış olur. Montaj safhasına ait aktiviteler ve onlarla ilişkili bilgiler tablo 5.9'da verilmektedir. Montaj safhasının GERT ve PNET şebeke planlarıysa, sırasıyla şekil 5.25 ve şekil 5.26'da gösterilmektedir.

Ayrıca safhalar arası ilişkilerin daha iyi anlaşılması ve çift dip imalatını bir bütün olarak görmek amacıyla şekil 5.27 ve şekil 5.28'de çift dip imalatı sisteminin sırasıyla GERT ve PNET şebeke planları verilmiştir.

Tablo 5.9 Montaj safhasına ait bilgiler

AKTİVİTE	DÜĞÜMLER ARASI	OLASILIĞI	ORTALAMA (SAAT)	STANDART SAPMA (SAAT)
Kaynak (G01)	65-66	1	16.6	1.66
Muayene	66-67	1	3.32	0.332
Taşıma	67-68	1	0.22	0.022
Jack ve turn	68-69	1	1.08	0.108
Kaynak (J01)	69-70	1	13.33	1.333
Muayene	70-71	1	2.67	0.267
Taşıma	71-73	1	0.167	0.0167
Taşıma	72-73	1	0.666	0.0666
Kaynak (K01)	73-74	1	14.944	1.4944
Muayene	74-75	1	2.989	0.2989

Tablo 5.3, tablo 5.4, tablo 5.5, tablo 5.6, tablo 5.7, tablo 5.8 ve tablo 5.9'daki aktivitelere ait ortalama sürelerinin nasıl hesaplandığı Ek B1'de ayrıntılı olarak verilmektedir.

5.3 Sonuçlar ve değerlendirme

Çift dip imalatı sisteminin GERT ve PNET şebeke planları oluşturulduktan ve incelenen projenin mantığı ortaya çıktıktan sonra sıra yöntemlerin imalata uygulanmasına gelmiştir. Yöntemler uygulanırken sonuca adım adım yaklaşılabacaktır. Yani bir safhanın çıktı değerleri, takibeden safhanın girdi değerleri kabul edilecektir.

GERT yönteminde sistemin çözümlenebilmesi için şebekenin EXOR tipi düğümlerden kurulması gereklidir. Bu yüzden AND tipi düğümler EXOR tipi düğümlere dönüştürülmüştür. Bu dönüşümle ilgili ayrıntılı bilgi bölüm 3.1.2.2'de verilmektedir.

Sisteme ait sonuçlar tablo 5.10 ve tablo 5.11'de, bu tablolardaki değerlere ait ayrıntılı hesaplar ise ek B2'de verilmektedir. Tablo 5.10'daki değerler GERT yöntemi sonuçları, tablo 5.11 ve tablo 5.12'deki değerler PNET yöntemi sonuçlarıdır. Tablo 5.11'deki değerler $\sigma=0.1\mu$, tablo 5.12'deki değerler $\sigma=0.2\mu$ değeri için verilmiştir. Sonuçlar her iki tabloda da projenin %70, %80, %90 ve %99.87 tamamlanma zamanı olasılığı değerleri için verilmiştir.

Burada dikkat edilmesi gereken nokta, GERT yöntemiyle hesaplanmış olasılık değerlerinin aktivitelerin yerine getirilme olasılıkları olduğudur. Yani bu olasılık değerleri aktivite sürelerinden bağımsızdır. AND düğümlerinin EXOR tipi düğümlere dönüştürülmesi sonucu, montaj safhasında olasılık değerleri sıfıra yakalaşır. Bu tablo 5.10'da açıkça görülmektedir.

Buna karşın, PNET yöntemindeki olasılık değerleri, aktivite süreleri ve onların standart sapma değerlerinin bağımlıdır. Her iki tablodan görüleceği üzere GERT yöntemi PNET yönteminden daha düşük değerler vermektedir.

Buraya kadar yapılan tüm hesaplarda, her aktiviteye ait standart sapma değeri, aktivite ortalama süresinin %10'u kabul edilmişti. Bu oranın %20 değeri için PNET yöntemin de bulunan değerler tablo 5.12'de gösterilmektedir.

Tablo 5.10 Çift dip imalatına ait GERT yöntemi sonuçları

SAFHA	OLASILIK (%)	DÜĞÜMLER ARASI	BEKLENEN SÜRE (saat)
PROFİL HAZIRLAMA	28.68	1-41	4.950
	28.68	1-42	4.950
	2.12	1-47	1.686
	6.37	1-48	1.686
	25.49	1-49	1.686
	4.25	1-50	1.686
LEVHA HAZIRLAMA	20.16	18-41	5.210
	27.84	18-42	6.710
	4.0	18-47	1.990
	8.0	18-48	2.062
	23.97	18-49	1.065
	8.0	18-50	0.707
	4.0	18-27-51	3.880
	4.0	18-28-51	1.990
PANEL HATTI	7.98	18-42-65	24.75
	5.78	18-41-69	23.25
MATRİS YAPI İMALATI	0	1-62-65	18.19
	0.255	18-48-58-65	7.110
	6.11	1-49-65	30.037
	0.16	18-51-65	16.400
MONTAJ	0	1-49-65-69	51.257
	0	1-49-65-69-73	67.424
	0	1-49-65-69-73-75	85.357
		75	

Tablo 5.11 ve tablo 5.12'den görüldüğü üzere, standart sapma değerindeki 2 katlık artışa karşın, toplam eşdeğer beklenen sürelerdeki artış ortalama olarak %5-20 düzeyinde olduğu görülür.

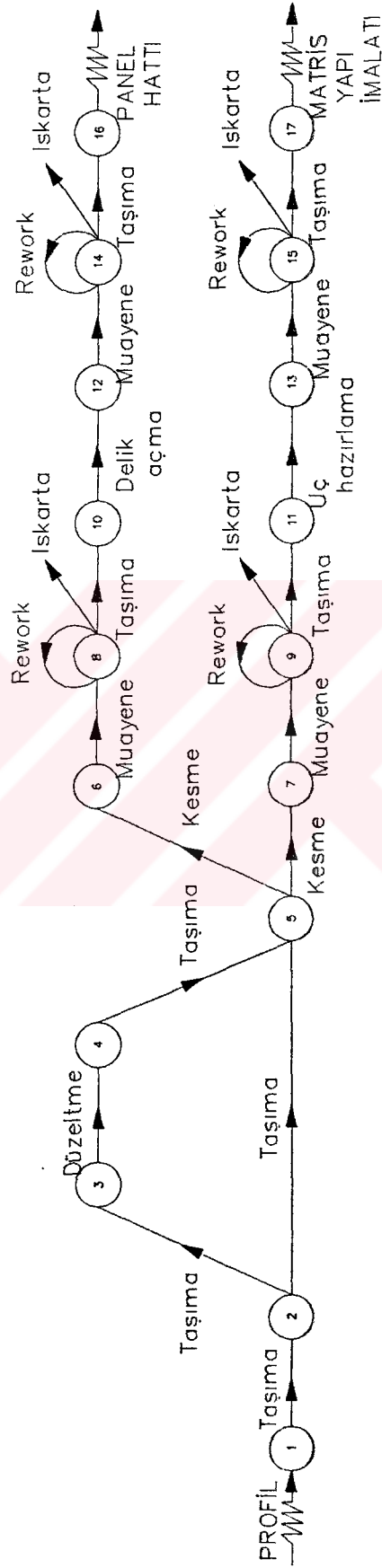
Tüm hesaplarla ilgili ayrıntılı bilgi ek B'de verilmektedir.

Tablo 5.11 Çift dip imalatına ait PNET yöntemi sonuçları ($\sigma=0.1\mu$)

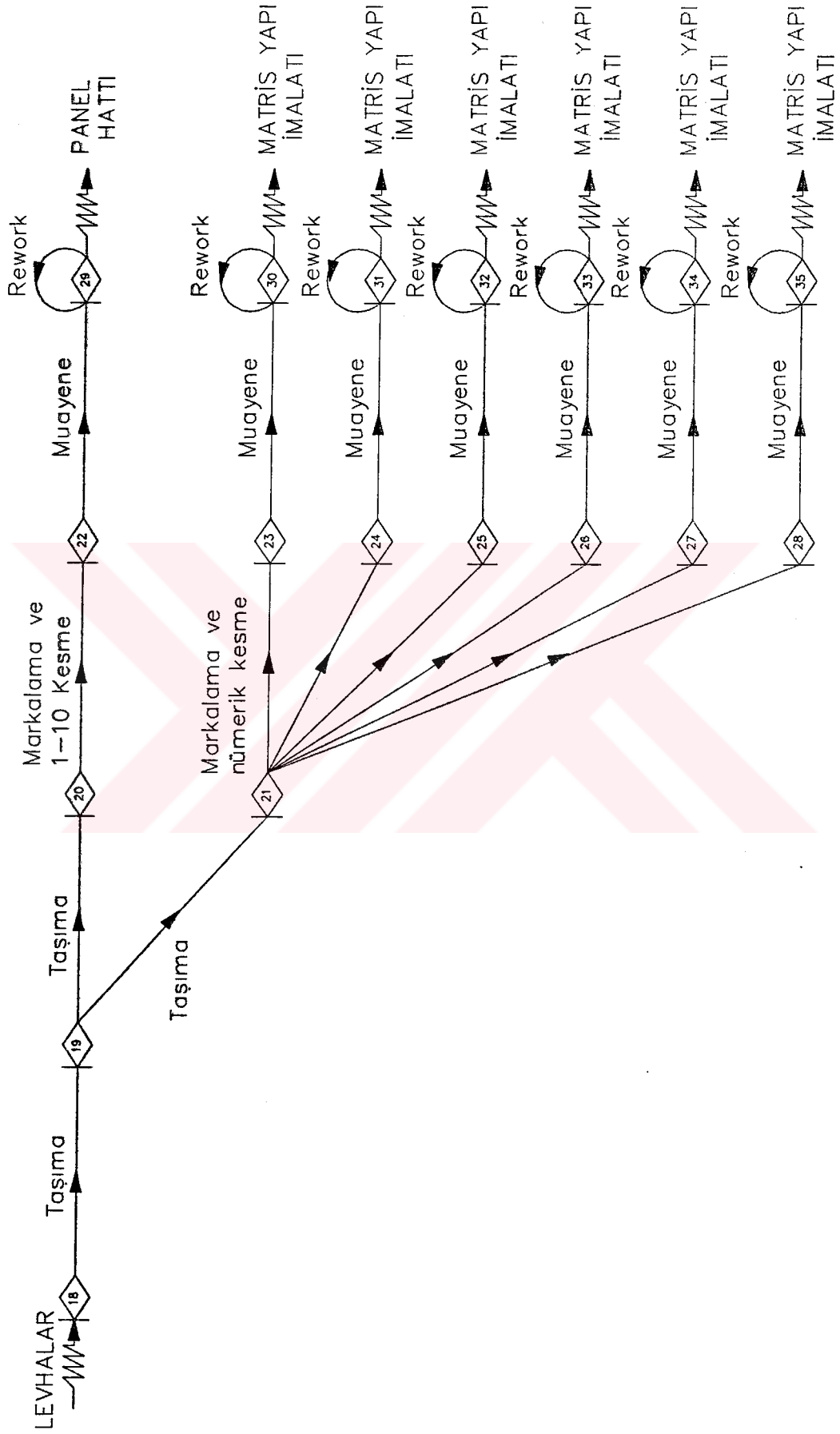
	DÜĞÜMLER ARASI	%70	%80	%90	%99.87
PROFİL HAZIRLAMA	1-41	5.164	5.233	5.287	5.496
	1-42	5.164	5.233	5.287	5.496
	1-47	1.917	1.949	1.993	2.165
	1-48	1.917	1.949	1.993	2.165
	1-49	1.917	1.949	1.993	2.165
	1-50	1.917	1.949	1.993	2.165
LEVHA HAZIRLAMA	18-41	5.398	5.482	5.597	6.049
	18-42	6.919	7.015	7.149	7.669
	18-47	2.1	2.151	2.221	2.492
	18-48	2.176	2.223	2.301	2.584
	18-49	1.236	1.259	1.292	1.417
	18-50	0.736	0.749	0.767	0.837
	18-27-51	3.928	3.957	3.997	4.153
	18-28-51	2.1	2.151	2.221	2.492
PANEL HATTI	18-42-65	25.607	26.097	26.773	29.414
	18-42-69	24.103	24.589	25.263	27.89
MATRİS YAPI İMALATI	1-62-65	19.664	19.996	20.456	22.25
	18-48-58-65	7.325	7.438	7.593	8.2
	1-48-65	30.481	30.641	30.863	31.73
	18-51-65	16.816	17.068	17.416	18.78
MONTAJ	1-49-65-69	52.365	52.928	53.707	56.75
	1-49-69-73	68.775	69.484	70.466	74.3
	1-49-73-75	86.955	87.814	89.003	93.643

Tablo 5.12 Çift dip imalatına ait PNET yöntemi sonuçları ($\sigma=0.2\mu$)

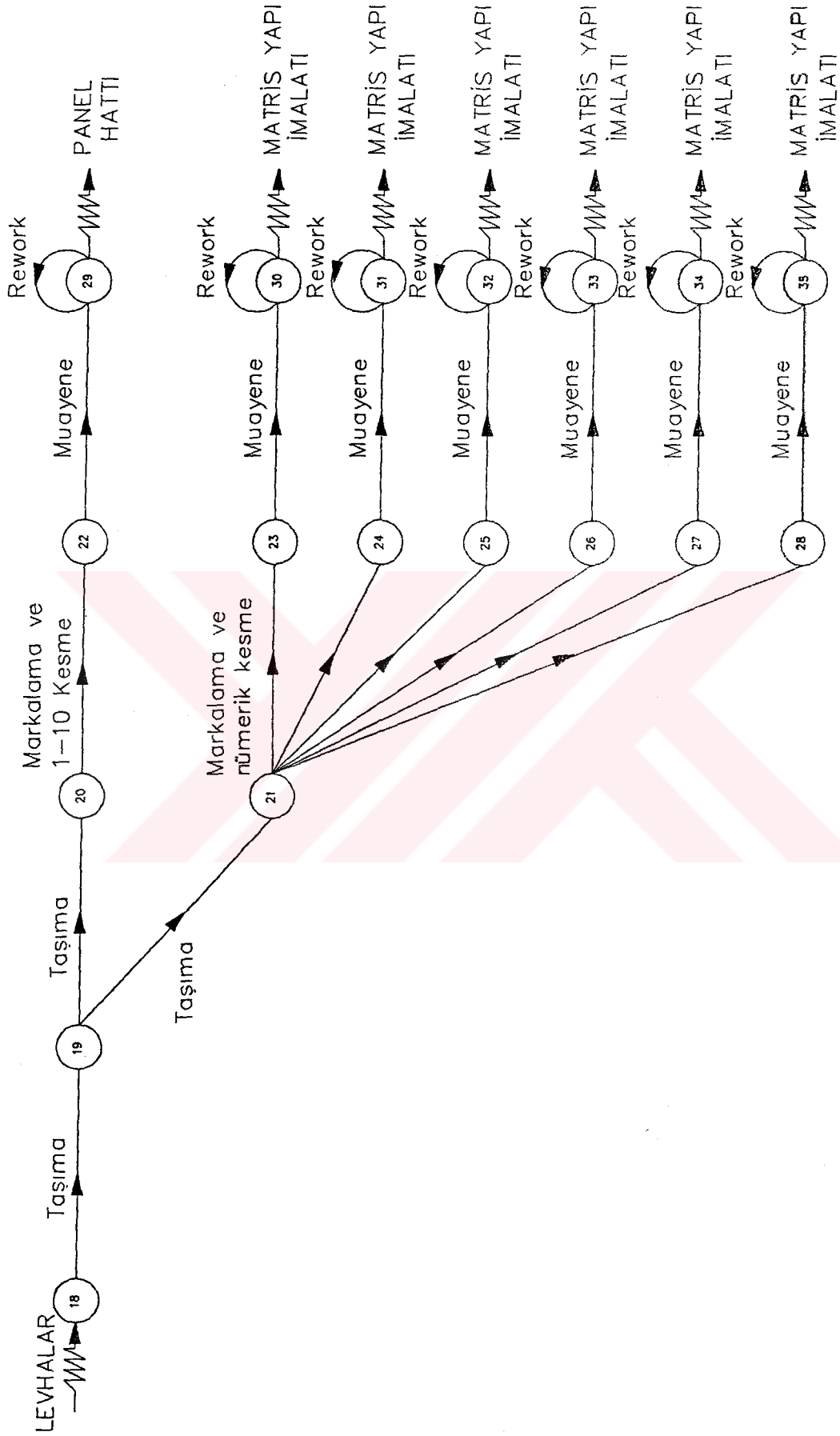
	DÜĞÜMLER ARASI	%70	%80	%90	%99.87
PROFİL HAZIRLAMA	1-41	5.258	5.336	5.443	5.862
	1-42	5.258	5.336	5.443	5.862
	1-47	1.969	2.033	2.121	2.464
	1-48	1.969	2.033	2.121	2.464
	1-49	1.969	2.033	2.121	2.464
	1-50	1.969	2.033	2.121	2.464
LEVHA HAZIRLAMA	18-41	5.536	5.703	5.935	6.838
	18-42	7.078	7.271	7.538	8.578
	18-47	2.184	2.284	2.423	2.965
	18-48	2.263	2.368	2.513	3.079
	18-49	1.275	1.321	1.386	1.636
	18-50	0.757	0.783	0.819	0.96
	18-27-51	3.975	4.033	4.113	4.426
	18-28-51	2.184	2.284	2.423	2.966
PANEL HATTI	18-42-65	26.415	27.393	28.746	34.028
	18-42-69	24.907	25.879	27.226	32.48
MATRİS YAPI İMALATI	1-62-65	20.213	20.877	21.796	25.382
	18-48-58-65	7.511	7.735	8.046	9.258
	1-48-65	30.746	31.067	31.511	33.244
	18-51-65	17.231	17.735	18.432	21.151
MONTAJ	1-49-65-69	53.294	54.419	55.977	62.055
	1-49-69-73	69.946	71.366	73.329	80.994
	1-49-73-75	88.374	90.092	92.471	101.751



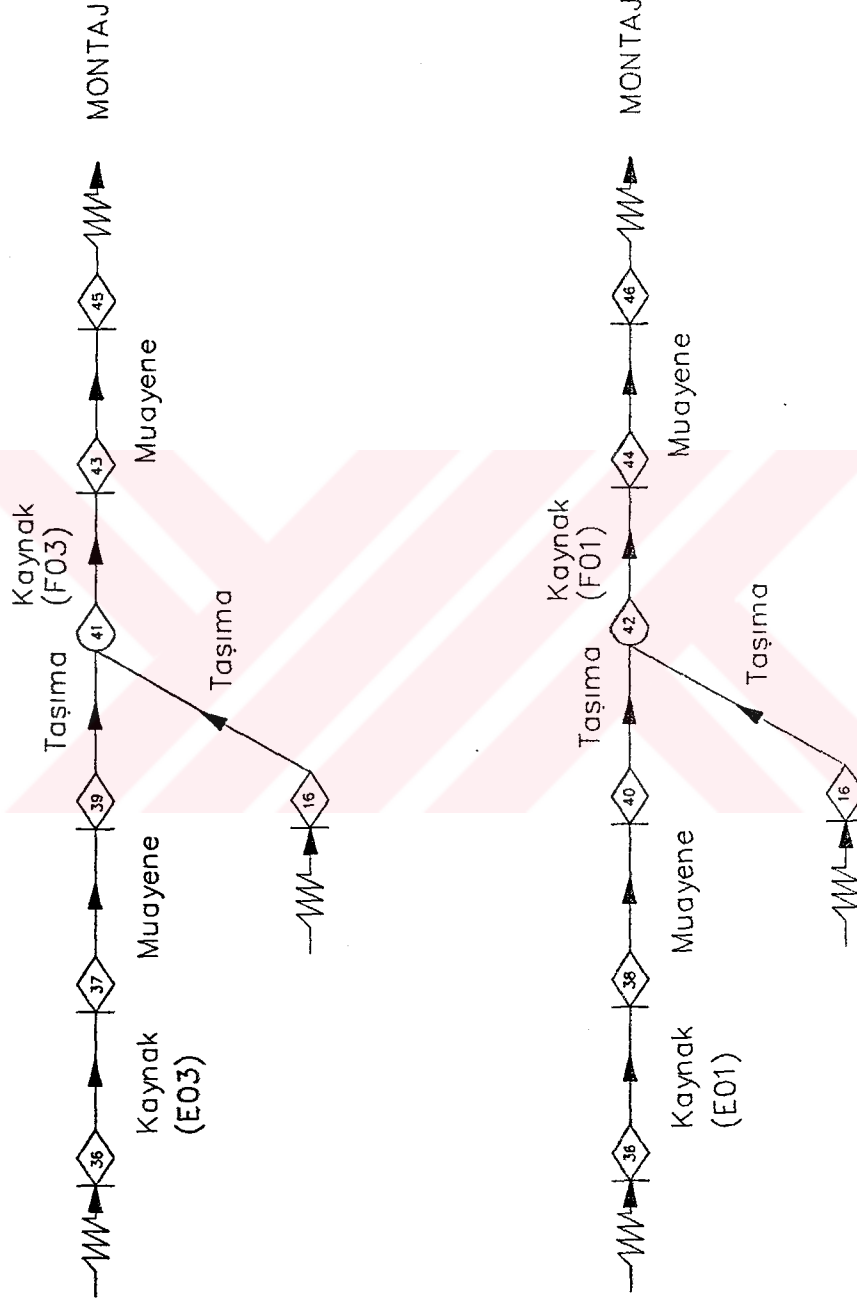
Şekil 5.18 Profil hazırlama safhasına ait PNET şebeke planı



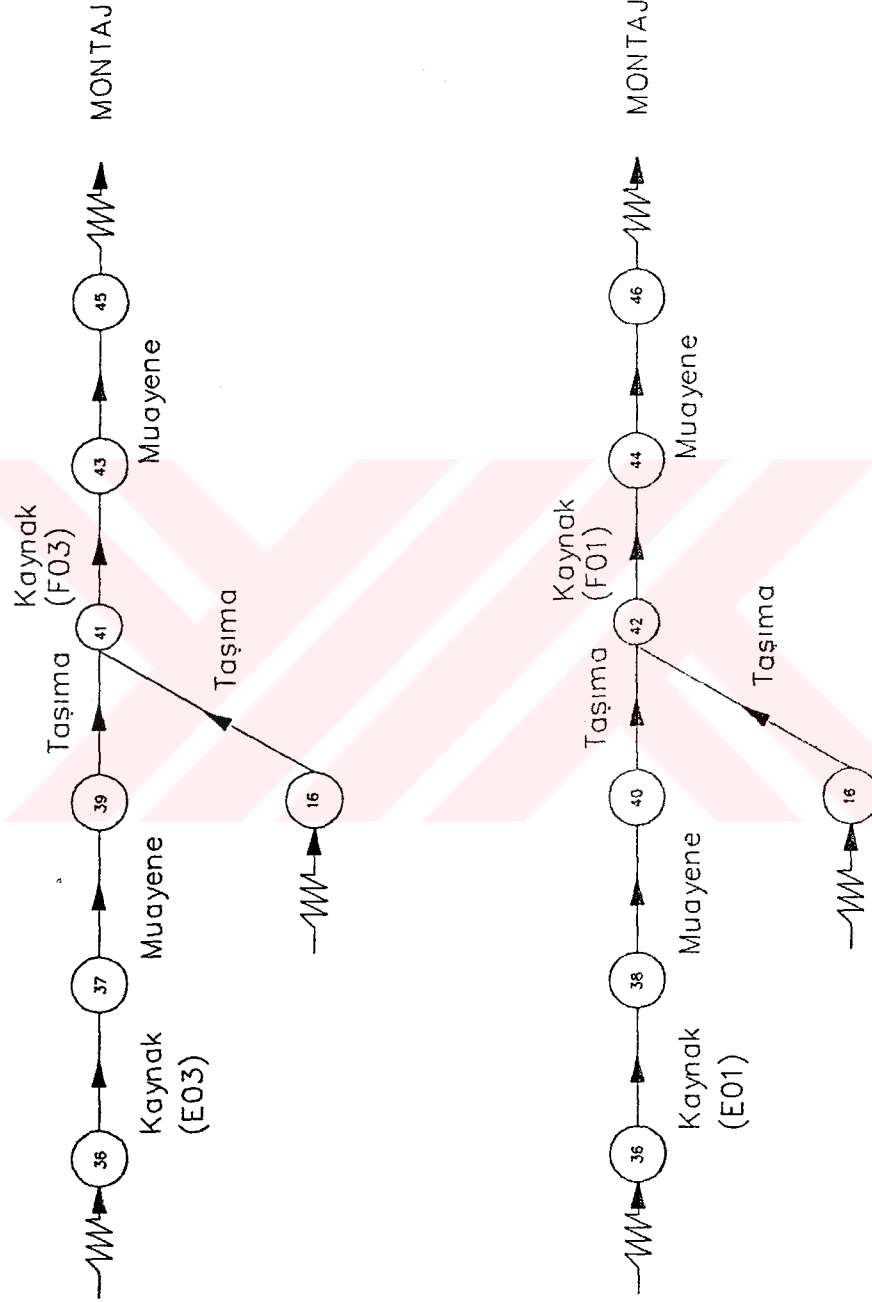
Şekil 5.19 Levha hazırlama safhasına ait GERT şebeke planı



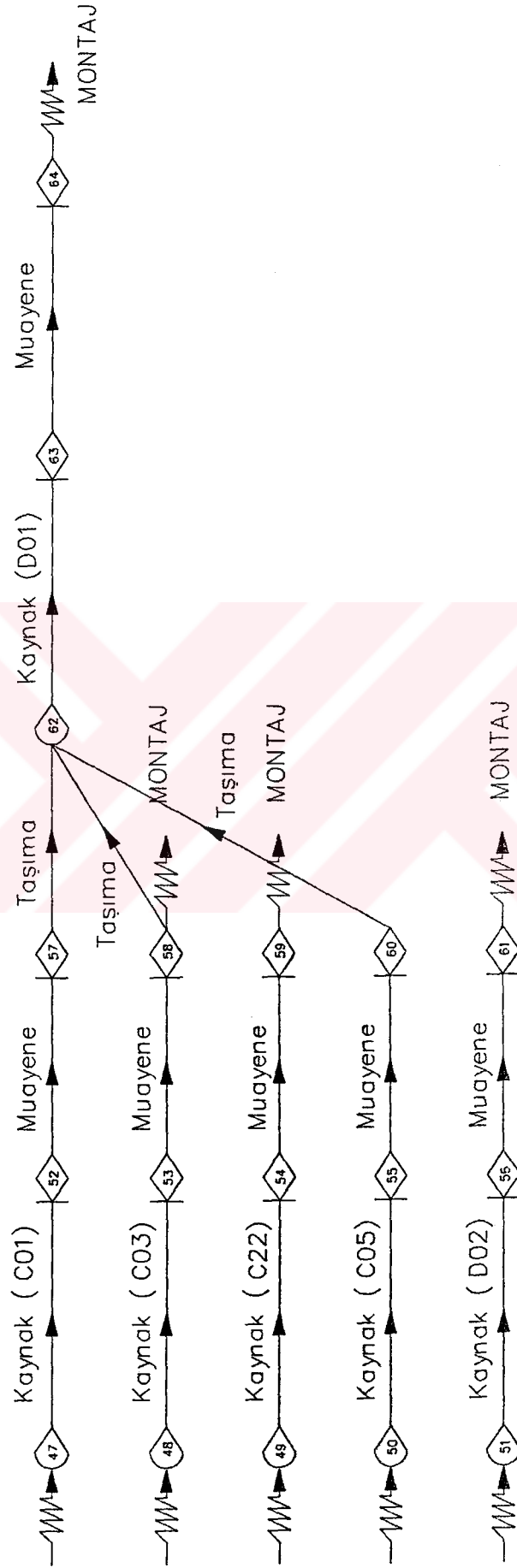
Şekil 5.20 Levha hazırlama safhasına ait PNET şebeke planı



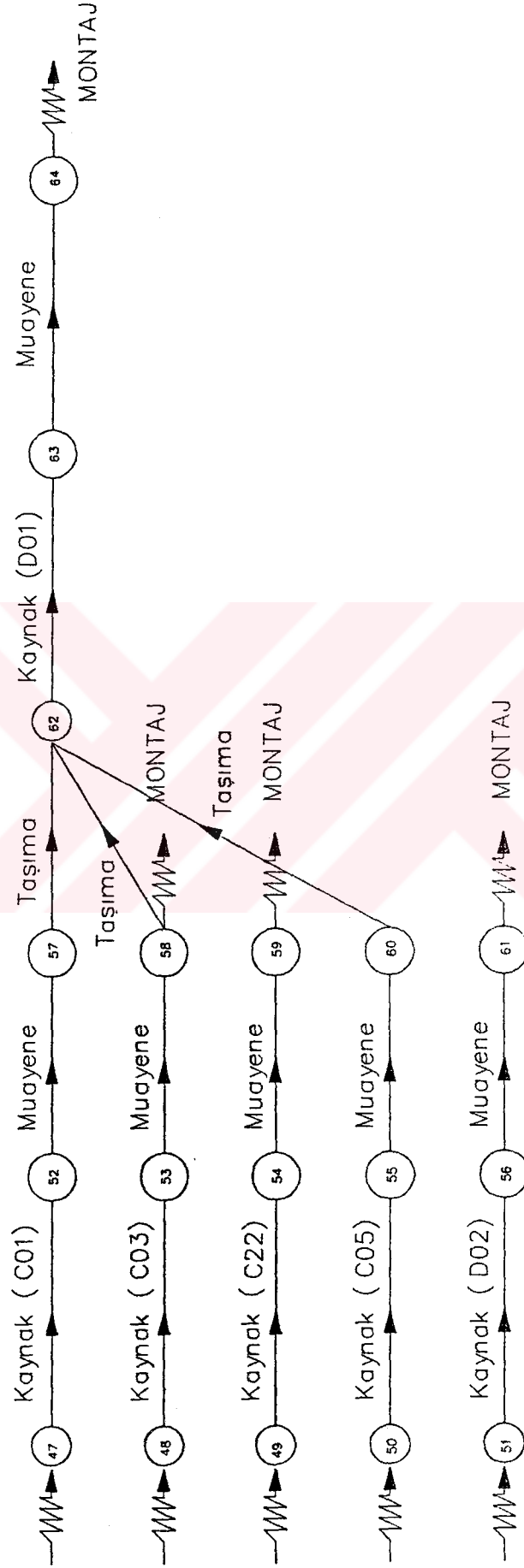
Şekil 5.21 Panel hattı safhasına ait GERT şebeke planı



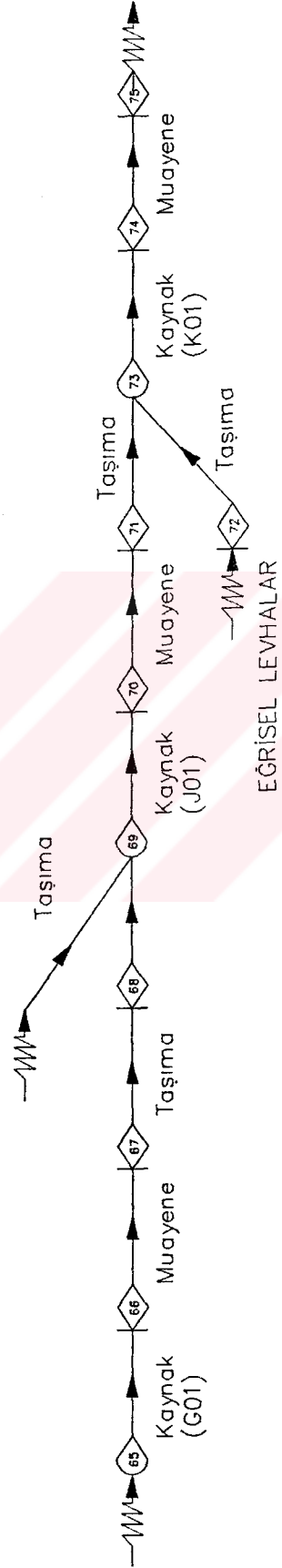
Şekil 5.22 Panel hattı safhasına ait PNET şebeke planı



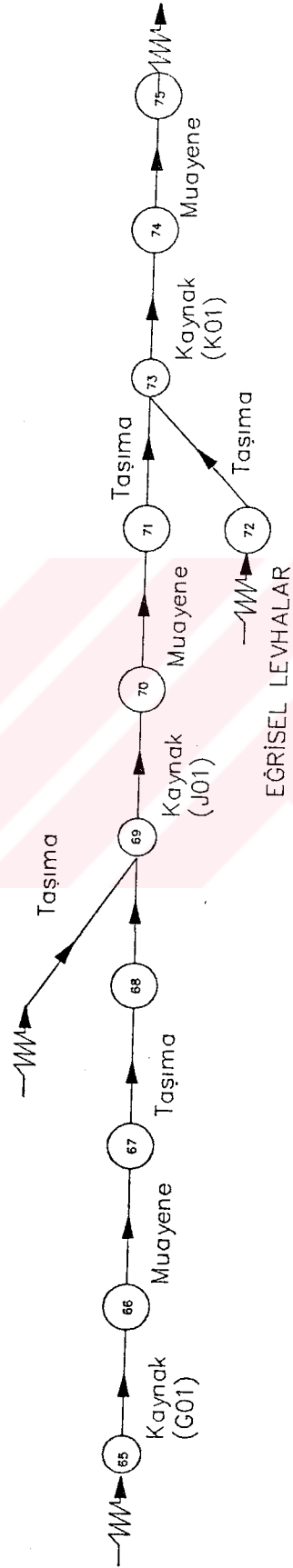
Şekil 5.23 Matris yapı imalatı safhasına ait GERT şebeke planı



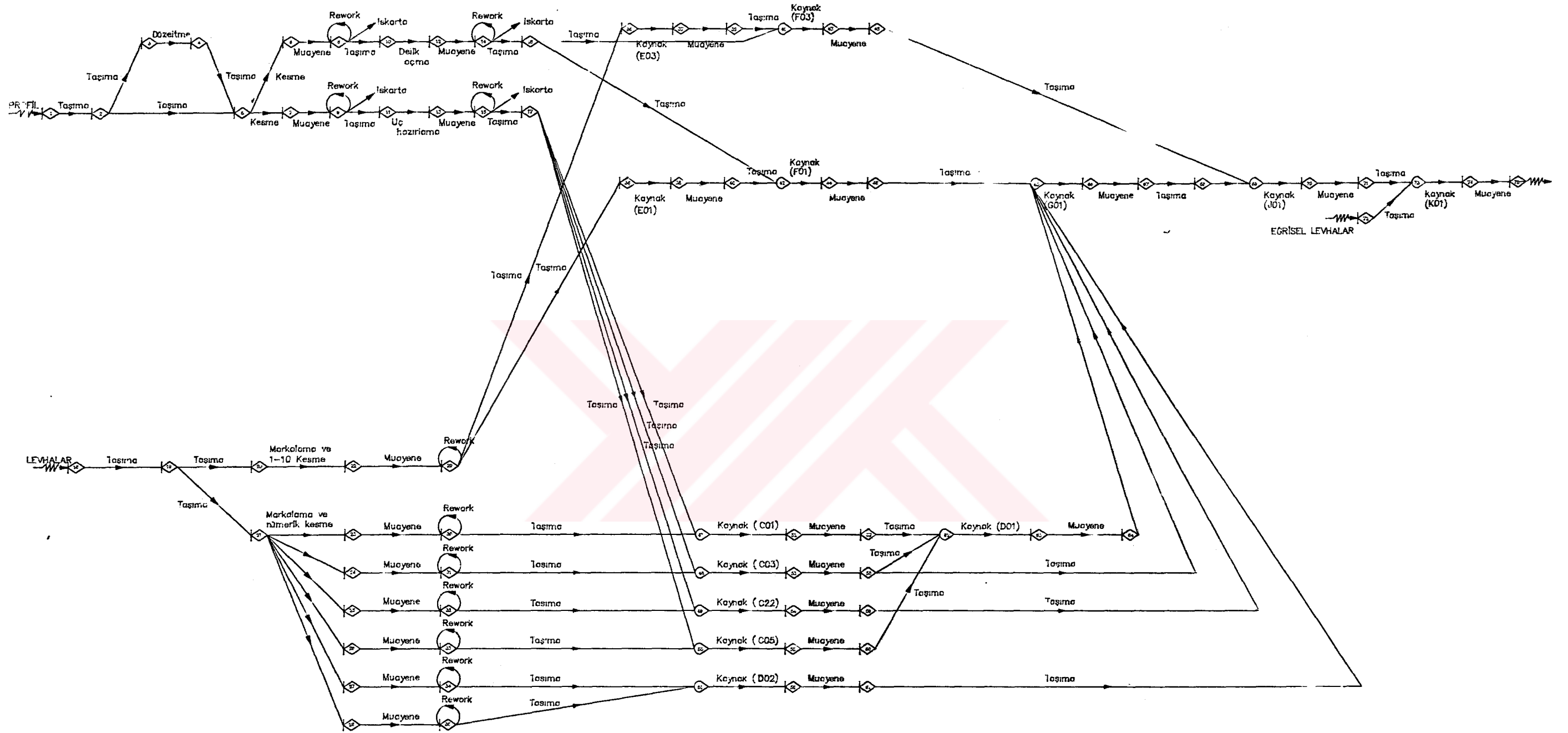
Şekil 5.24 Matris yapı imalatı safhasına ait PNET şebeke planı



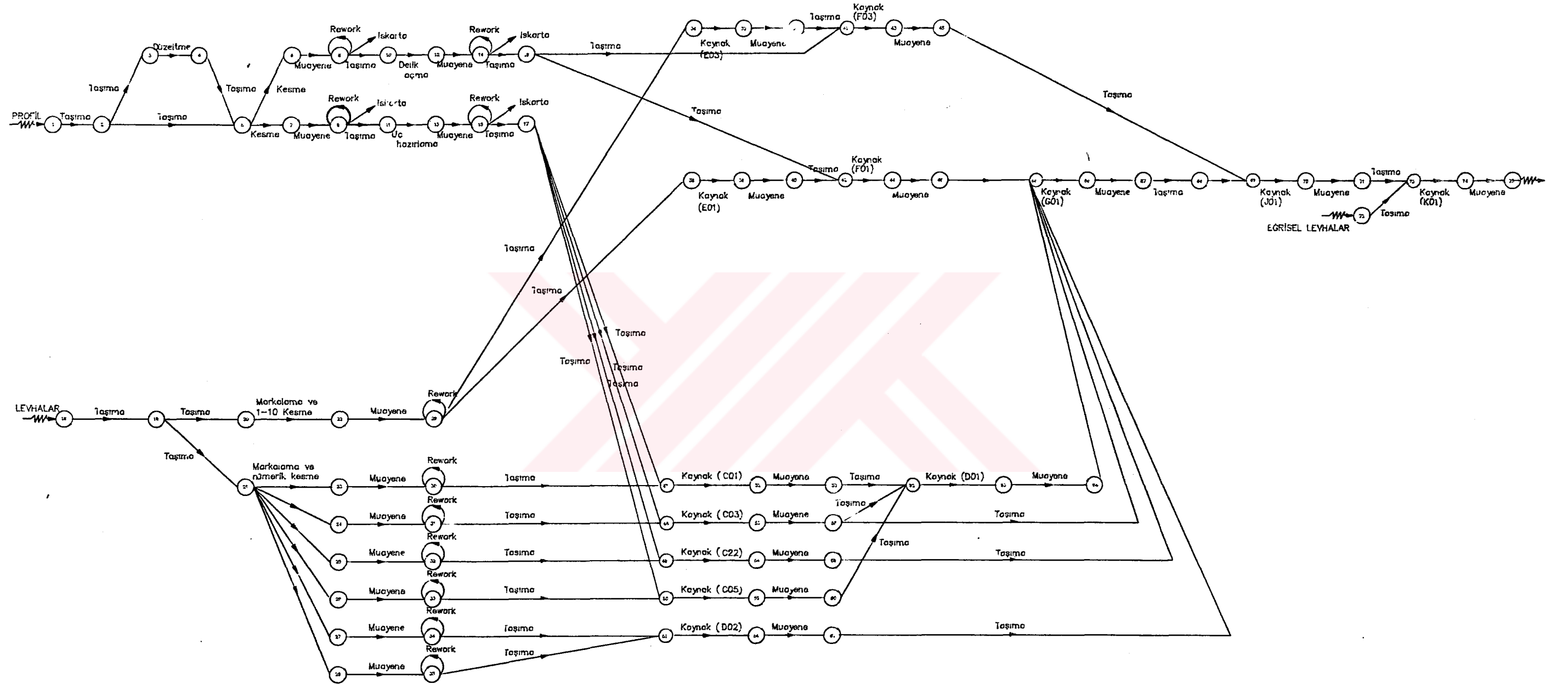
Şekil 5.25 Montaj safhasına ait GERT şebeke planı



Şekil 5.26 Montaj safhasına ait PNET şebeke planı



Şekil S.27 Çift dip malatı sistemine ait GERT şebeke planı



Şekil 5.28 ÇK1 dip anodu sistemine ait PNET ağızlık planı

SONUÇLAR VE ÖNERİLER

Herhangi bir projenin kontrolü, proje planlamasıyla başlar. Daha sonra projenin programlanmasına geçilir. Proje programlanması tekniklerinden en önemlileri ve en sık kullanılanları şebeke analizi yöntemleridir.

Çalışmada kullanılan şebeke analizi yöntemleri, olasılıklı şebeke analizi yöntemleri GERT (Graphical Evaluation and Review Technique) ve PNET (Probabilistic Network Evaluation Technique) yöntemleridir. Bunlardan GERT istatistiki bir proses, PNET ise stokastik bir prosestir. Başka bir sınıflandırmaya göre GERT statik, PNET ise yarı dinamik bir yöntemdir. Her iki yöntem de bize olasılıklı proje tamamlanma zamanı değerleri verir. Yalnız burada, GERT yönteminin olasılık değerlerinin, aktivitelerin yerine getirilme olasılıkları olduğu ve aktivite sürelerinin bu olasılık değerlerine hiçbir etkisi olmadığı unutulmamalıdır.

PNET yöntemi için durum farklıdır. Çünkü bu yöntemde, aktivite sürelerindeki sapmaların sonuç üzerine etkisi vardır ve proje tamamlanma zamanı olasılığı değeri zamanın bağımlısıdır.

Modellenmesi güç olan gemi inşaatı projelerinden çift dip imalatı projesi, yöntemlerin uygulanacağı projedir. Çalışmada hesaplar tek bir çift dip bloğu için yapılmıştır ve projenin beş safhadan oluştuğu kabul edilmiştir. Bunlar; profil hazırlama, levha hazırlama, panel hattı, matris yapı imalatı ve montaj (fabrikasyon) safhalarıdır.

İlk önce çift dip imalatı projesinin mantığı ortaya çıkarılmış, daha sonra yöntemlerin uygulamasına geçilmiştir. Çift dip imalatı kademelerinin gerçeğe yakın şekilde modellenmesi çalışmanın ilk adımıdır. Modelleme yapılırken, paralel ve seri aktivitelerin öncelikle belirlenmesine özen gösterilmiştir.

Projenin yapısı itibarıyla GERT modelinde EXOR ve AND olmak üzere iki düğüm tipi kullanılmıştır. GERT için geliştirilen prosedür, EXOR tipi düğümlerden kurulu şebeke planları için uygulanabildiğinden tüm AND düğümleri EXOR tipi düğümlere dönüştürülmüştür.

Bu çalışmada, bir safhanın çıktısı takibeden safhanın girdisi kabul edildiğinden sonuca adım adım gidilmiştir. Buna göre, panel hattı ve matris yapı imalatı safhalarını profil hazırlama ve levha hazırlama safhaları, en son safha olan montaj safhasını da panel hattı ve matris yapı imalatı safhaları beslemektedir.

Çalışmanın sonucunda her iki yöntem için de, gerek safha gerekse tüm proje bazında olasılıklı proje tamamlanma zamanı değerleri elde edilmiştir. GERT yöntemine ait sonuçlar tablo 5.10, PNET yöntemine ait sonuçlar ise tablo 5.11 ve tablo 5.12'de gösterilmiştir.

Ancak GERT yönteminde, AND düğümlerinin EXOR tipi düğümlere dönüştürülmesinden dolayı proje tamamlanma zamanı olasılığı sıfır değerini bulmuştur. Çünkü, hesaplar tek bir çift dip bloğu için yapıldığından, $t=0$ anında tüm ara stoklar boştur. Oysa seri üretimde (ardı ardına üretilen çift dip blokları) bu ara stoklar dolu olacak ve dolayısıyla ara stoklardan sonraki aktivitelerin yerine getirilme olasılıkları yükselecektir. Bu durum, GERT yönteminin bize herhangi bir üretim hattındaki kritik noktaları ortaya çıkardığını gösterir. Bu çalışmadaki kritik noktalar AND düğümleri önüdür.

Ayrıca GERT yönteminin PNET yöntemine nazaran daha kötümser sonuçlar verdiği görülmüştür.

PNET yöntemi sonuçları, %70, %80, %90 ve %99.87 olasılık değerleri için verilmiştir. Bu sonuçlar tablo 5.11'de gösterilmiştir. Bu tabloda, proje tamamlanma zamanı olasılığı değeriyle proje tamamlanma zamanının doğru orantılı olduğu görülür. Standart sapma değerinin aktivite süresinin %20'si olduğu PNET yöntemi sonuçları tablo 5.12'de verilmiştir. Bu tablodan, standart sapma değerindeki %100'lük artışa rağmen toplam beklenen süredeki artışın %5-20 düzeylerinde kaldığı görülmüştür.

Bundan sonra yapılabilecek çalışma ve ideal olanı, bu sonuçları simülasyon sonuçlarıyla karşılaştırmaktır.

KAYNAKLAR

- [1] CLELAND I. David, R. KING William, Systems analysis and project management, Mc GRAW-HILL Book Company, pp. 341-367, (1975).
- [2] KARAYALÇIN İ. İlhami, Yöneylem araştırması, pp. 297-330, İstanbul, (1979).
- [3] EVERETT E. Adam, EBERT J. JR. Ronald, Production Operations Management, Prentice-Hall Inc. , pp. 332-358, (1978).
- [4] ACAR Nesime, Üretim Planlaması Yöntem ve Uygulamaları, MPM Yayınları, pp. 109-118, Ankara, (1989).
- [5] JOHNSON A. Richard, KAST E. Frement, ROSENZWEIG E. James, The Theory and Management of systems, Mc GRAW-HILL Book Company, pp. 244-267, (1917).
- [6] PRITSKER A. Alan B. , HAPP W. William, GERT: Graphical Evaluation and Review Technique Part I. Fundamentals, Journal of Industrial Engineering 17, pp. 267-274, (1966).
- [7] FRANKEL G. Ernst, Shipbuilding Project Management, Massachusetts, pp. 301-324.
- [8] BERG Rolph, MEYER Arved, MULLER Max, ZOGG Andreas, Netzplan Technik Grundlagen-Methoden-Praxis, Verlag Industrielle Organisation, pp. 97-135, Zürich, (1973).
- [9] ANG H-S. Alfredo, ABDELNOUR Jamal, CHAKER A. Amal, Analysis of Activity Networks Under Uncertainty, Journal of the Engineering Mechanics Division, Proc. ASCE, Vol. 101, No: EM4, pp.373-387, (August 1975).
- [10] PRITSKER A. Alan B. , WHITEHOUSE E. Gary, GERT: Graphical Evaluation and Review Technique Part II. Probabilistic and Industrial Engineering Applications, Journal of Industrial Engineering 17, pp. 294-300, (1966).

- [11] ODABAŞI A. Yücel, ALKANER Selim, ODABAŞI Barbaros,
Development and evaluation of Marmara shipyard's expansion
programme, İstanbul, (July 1993).
- [12] SHOOMAN M. L. , Probabilistic Reliability: An Engineering
Approach, Mc. GRAW-HILL Book Company, pp. 119-129 &
pp.15-65, New York, (1968).
- [13] EPPEN Gary D. , GOULD Floyd Jerome, Introductory Management
Science, Prentice-Hall Inc. , pp. 340-376, New Jersey, (1984).



EK A. BİRLEŞİ GÜVENİLİRLİK

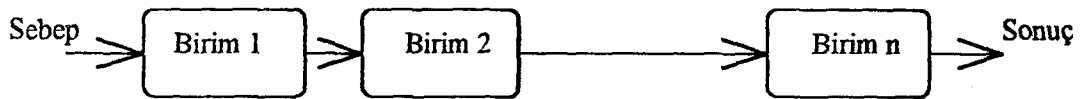
Topoloji denklemini daha iyi anlayabilmek için birleşî güvenilirlik (combinatorial reliability) konusu irdelemek zorundayız [12].

EK A1. Seri konfigürasyonu

Güvenilirlik analizinde en basit ve belkide en yaygın yapı seri konfigürasyonudur. Seri halde, sistemin işlevsel çalışması sistemin tüm bileşenlerinin uygun çalışmasına bağlıdır.

Bunu anlayabilmek için şöyle bir örneği ele alalım. Bir alarm lambası ve üç elektrik anahtarı birbirine seri halde bağlı olsunlar. Alarm lambası yüksek voltaja karşı personeli uyarmak için yanacaktır. Alarm lambasının yanması için üç anahtarında kapalı olması lazımdır.

Şekil A.1'de serilerin güvenilirlik konfigürasyonu gösterilmiştir. Şekilden görüldüğü üzere herhangi bir sistem bileşeninin bozulması sistemin bozulmasına yol açar. Şekildeki sistem n adet birime bölünmüştür. Burada n. birimin başarısı X_n , başarısızlığı $\bar{X}_n$ ile gösterilmiştir.



Şekil A.1 Serilerin güvenilirlik konfigürasyonu.

- $P(X_n)$: n. birimin başarılı olma olasılığı.
- $P(\bar{X}_n)$: n. birimin başarısız olma olasılığı.
- P_s : Sistemin başarılı olma olasılığı.
- P_f : Sistemin başarısız olma olasılığı.
- $P_f = 1 - P_s$

Seri konfigürasyonunda, sistemin başarısı için tüm birimlerin başarılı çalışması gerektiği için, sistemin başarısı $X_1, X_2, \dots, X_n$ 'in kesişimidir.

$$P_s = P(X_1 X_2 X_3 \dots X_n) = P(X_1)P(X_2|X_1)P(X_3|X_1 X_2) \dots P(X_n|X_1 X_2 \dots X_{n-1})$$

Bu denklemdeki olasılıkların şartlı olasılık oldukları unutulmamalıdır. Örneğin $P(X_3|X_1 X_2)$ demek 3. birimin başarısı için 1. ve 2. birimlerin başarılı çalışıyor olması demektir.

Diğer bir yaklaşımda sistemin bozulma olasılığını hesaplamaktır. Herhangi bir birim bozulduğunda sistem bozulacağı için

$$P_f = P(\bar{X}_1 + \bar{X}_2 + \bar{X}_3 + \dots + \bar{X}_n) \text{ yazılabilir.}$$

$$P_f = [P(\bar{X}_1) + P(\bar{X}_2) + \dots + P(\bar{X}_n)] - [P(\bar{X}_1 \bar{X}_2) + P(\bar{X}_1 \bar{X}_3) + \dots + P(\bar{X}_1 \bar{X}_j)_{i \neq j}] + \dots + \dots + (-1)^{n-1} [P(\bar{X}_1 \bar{X}_2 \dots \bar{X}_n)]$$

$P_s = 1 - P_f$ olduğuna göre;

$$P_s = 1 - [P(\bar{X}_1) + P(\bar{X}_2) + \dots + P(\bar{X}_n)] + [P(\bar{X}_1)P(\bar{X}_2|\bar{X}_1) + P(\bar{X}_1)P(\bar{X}_3|\bar{X}_1) + \dots + P(\bar{X}_i)P(\bar{X}_j|\bar{X}_i)_{i \neq j}] - \dots + (-1)^n P(\bar{X}_1)P(\bar{X}_2|\bar{X}_1) \dots P(\bar{X}_n|\bar{X}_1 \bar{X}_2 \dots \bar{X}_{n-1})$$

Bu denklem şartlı olasılıklar içerir. Bağımsız halde; $P(\bar{X}_3|\bar{X}_2 \bar{X}_1) = P(\bar{X}_3)$ olur.
O halde;

$$P_s = 1 - [P(\bar{X}_1) + P(\bar{X}_2) + \dots + P(\bar{X}_n)] + [P(\bar{X}_1)P(\bar{X}_2) + P(\bar{X}_1)P(\bar{X}_3) + \dots + P(\bar{X}_i)P(\bar{X}_j)] - \dots + (-1)^n P(\bar{X}_1)P(\bar{X}_2) \dots P(\bar{X}_n) \text{ yazılabilir.}$$

EK A2. Paralel konfigürasyonu

Şekil A.2'de görüldüğü üzere bir paralel konfigürasyonunda, paralel kanallardan herhangi biri başarılı ise sistem başarılıdır.

Sistemin başarılı olma olasılığı P_s
 $P_s = P(X_1 + X_2 + X_3 + \dots + X_n)$ veya

$P_s = [P(X_1) + P(X_2) + \dots + P(X_n)] - [P(X_1X_2) + P(X_1X_3) + \dots + P(X_1X_j)_{j \neq 1}] + \dots + (-1)^{n-1} P(X_1X_2 \dots X_n)$ şeklinde yazılabilir.

Sistemin başarısızlığı için, sistemin tüm birimlerinin bozulması gerekir.

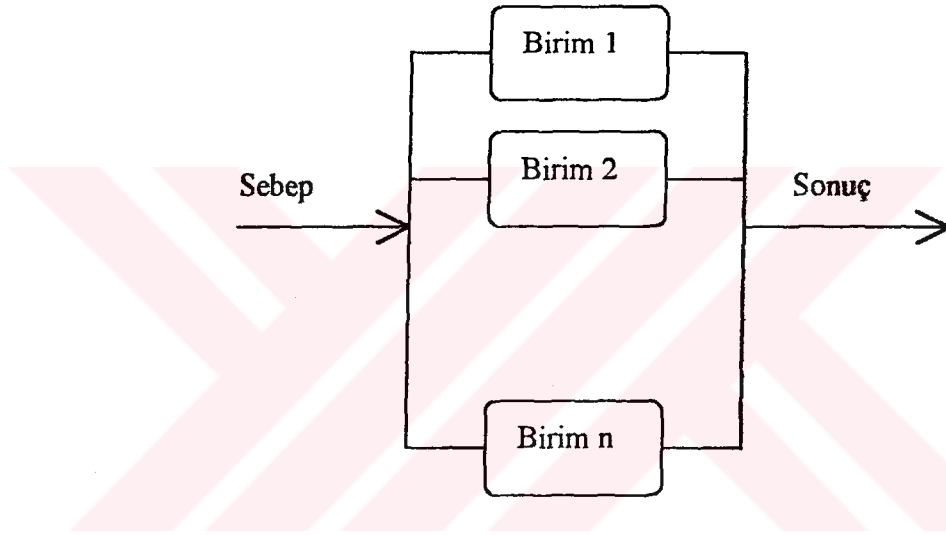
Yani;

$P_f = P(\bar{X}_1 \bar{X}_2 \bar{X}_3 \dots \bar{X}_n)$ 'dir. $P_s = 1 - P_f$ olduğuna göre,

$P_s = 1 - P(\bar{X}_1)P(\bar{X}_2|\bar{X}_1)P(\bar{X}_3|\bar{X}_1\bar{X}_2) \dots P(\bar{X}_n|\bar{X}_1\bar{X}_2 \dots \bar{X}_{n-1})$ eşitliği yazılabilir.

Eğer birimlerin bozulması bağımsız ise;

$P_s = 1 - P(\bar{X}_1)P(\bar{X}_2) \dots P(\bar{X}_n)$ olur. Ayrıca Tablo A.1'de seri ve paralel konfigürasyonlar için güvenilirlik hesapları gösterilmiştir.



Şekil A.2 Paralel güvenilirlik konfigürasyonu.

Tablo A.1 Seri ve paralel konfigürasyonlar için güvenilirlik hesapları.

Konfigürasyon	Bozulmalar	Güvenilirlik deyimi P_s
Seri	Bağımlı	$P(X_1)P(X_2 X_1) \dots P(X_n X_1X_2 \dots X_{n-1})$
	Bağımsız	$\prod_{i=1}^n P(X_i)$
Paralel	Bağımlı	$1 - P(\bar{X}_1)P(\bar{X}_2 \bar{X}_1) \dots P(\bar{X}_n \bar{X}_1\bar{X}_2 \dots \bar{X}_{n-1})$
	Bağımsız	$1 - \prod_{i=1}^n P(\bar{X}_i)$

EK B. ÇİFT DİP İMALATI TAMAMLAYICI BİLGİLERİ

EK B1. Ortalama sürelerinin hesabı

EK B1.1 Profil hazırlama safhası

Profil hazırlama safhasının yerine getirildiği atölyedeki atölye içi taşıma süreleri 0.04 saat, düzeltme süresi 0.065 saat, muayene süresi 0.025 saat ve rework süresi 0.045 saat olarak kabul edilmiştir. 12 m'lik profiller 9.8 m'lik kesilirse bir kere kesme yapılır ve kesme süresi 0.045 saattir. 9.8 m olarak kesilen profilde 16 delik açılır. Böylece delik açma süresi $16 \times 0.02 = 0.32$ saat olarak bulunur. Profiller 1.2 m'lik kesilirse 8 kere kesme yapılır, dolayısıyla kesme süresi $8 \times 0.045 = 0.36$ saattir. 1.2 m olarak kesilen her bir profilin her iki ucu da uç hazırlama işlemine tabi olur. Dolayısıyla uç hazırlama işlemi için geçen süre $16 \times 0.05625 = 0.9$ saat olarak bulunur.

EK B1.2 Levha hazırlama safhası

Levha hazırlama safhasının yerine getirildiği atölyelerdeki atölye içi taşıma süreleri 0.2 saat, muayene süreleri nümerik kesme veya 1:10 kesme sürelerinin %5'i, rework süreleri ise nümerik kesme veya 1:10 kesme sürelerinin %2'si olarak kabul edilmiştir.

1:10 kesme makinesi iki levhayı aynı anda markalayıp kesebilmektedir. İki levha için gereken markalama ve kesme süresi 1.5 saattir.

Nümerik kesmedeyse durum farklıdır. Nümerik kesme makinesinin markalama hızı 114 m/saat, kesme hızıysa 25.2 m/saat'tir. Tablo B.1'de C01, C03, C22 ve C05 yapılarının nümerik kesilecek levha parçalarıyla D02 yapısının 1.26 m yarıçaplı 1/4 daire dilimli levhasıyla (9.8*1.26) levhasının markalama ve kesme boyları ve bunların markalanıp kesilmesi için geçen sürelerin toplamı verilmektedir.

EK B1.3 Panel hattı safhası

Panel hattı safhasında E03, E01, F03 ve F01 imalatları gerçekleştirilir. Bu safhanın gerçekleştirildiği atölyedeki atölye içi taşıma süreleri 0.05 saat, montaj safhasına taşıma süreleri 0.3 saat, muayene süreleri F imalat sürelerinin %20'si olarak kabul edilmiştir. E imalatları için gerekli muayene süreleri 0.02 saattir.

Tablo B.1 Levha hazırlama safhasına ait markalamayla kesme boyları ve süreleri

Levha	Markalama boyu (m)	Kesme boyu (m)	Markalama + kesme süresi (saat)
C01	20.16	34.91	1.56
C03	20.16	36.56	1.63
C22	7.56	15.57	0.68
C05	2.52	8.02	0.34
1/4 daire dilimi	0.0	5.44	0.22
(9.8*1.26)	20.16	34.91	1.56

E imalatları için iki levhanın kaynak boyu 9.8 m'dir. Makinenin kaynak hızı 24 m/saat'tir. Dolayısıyla E03 ve E01 imalatlarına ait iki levhanın kaynakılma süresi $9.8/24=0.41$ saat olarak bulunur.

F03 ve F01 imalatlarında E03 ve E01 imalatlarının üzerlerine 14 adet 9.8 m'lik profil kaynakılır. Makinenin kaynak hızı 9 m/saat'tir ve profilin her iki yanını aynı anda kaynatabilmektedir. Profillerin kaynak boyu 9.5 m'dir. O halde F03 ve F01 imalatlarının yerine getirilmesi için gereken süre $(14 \times 9.5)/9=14.78$ saat olarak bulunur.

EK B1.4 Matris yapı imalatı safhası

Bu safhada C imalatlarının taşıma süreleri 0.25 saat, D imalatlarının taşıma süreleri 0.42 saat, C ve D imalatlarının muayene süreleri kaynak sürelerinin %20'si olarak kabul edilmiştir.

Tablo B.2'de C01, C03, C22, C05, D01 ve D02 imalatlarına ait kaynak boyları ve süreleri verilmektedir. C ve D imalatları için kaynak hızları 6.6

m/saat'tir. Örneğin C01 imalatı için gerekli süre $19.2/6.6=2.91$ saat olarak bulunur.

Tablo B.2 Matris yapı imalatı safhasına ait kaynak boyları ve süreleri

Matris yapı	Kaynak boyu (m)	Kaynak süresi (saat)
C01	19.2	2.91
C03	14.4	2.182
C22	5.76	0.8727
C05	1.92	0.29
D02	36.32	5.5
D01	63.56	9.63

EK B1.5 Montaj (fabrikasyon) safhası

G01 imalatının taşıma süresi 0.22 saat, J01 imalatının taşıma süresi 0.167 saat, eğrisel levhaların taşıma süresi 0.666 saat, G01, J01 ve K01 imalatlarının muayene süreleri kaynak sürelerinin %20'si kabul edilmiştir.

G01 ve J01 imalatlarında kaynak hızı 6.6 m/saat, K01 imalatında ark kaynağı hızı 1.98 m/saat ve yine K01 imalatında gaz kaynağı hızı ise 2.52 m/saat'tir.

Tablo B.3'de G01, J01 ve K01 imalatlarına ait kaynak boyları, paralel işlem adetleri ve kaynak süreleri verilmektedir.

Tablo B.3 Montaj safhasına ait kaynak boyları, paralel işlem adetleri ve kaynak süreleri

	Kaynak boyu (m)	Paralel işlem adedi	Kaynak süresi (saat)
G01	438.36	4	16.6
J01	351.9	4	13.33
K01/ark	174.94	8	11.044
K01/gaz	19.656	2	3.9

Paralel işlem aynı anda yapılan iş demektir. Örneğin G01 imalatı için gerekli kaynak süresi $438.36/6.6=66.4$ saat olarak bulunur. Fakat aynı anda 4 işçi kaynak yaptığından bu süre $66.4/4=16.6$ saat'e düşer. Aynı mantık J01 ve K01 imalatları için de geçerlidir.

EK B2. GERT ve PNET yönteminin ayrıntılı hesapları

Önce yöntemlerin safhalara uygulanmasında yardımcı olabilecek birkaç hatırlatma yapılacaktır. EXOR tipi düğümlerden oluşmuş bir GERT şebeke planının eşdeğer olasılık (P_E) ve eşdeğer beklenen zaman ($E(t)$) değerlerini bulabilmek için ilk önce safhaya ait eşdeğer w-fonksiyonu bulunur. Daha sonra eşdeğer olasılık

$$P_E = w_E(0),$$

$$T(E) = \frac{\partial w_E(s)}{\partial s} \Big|_{s=0}$$

$$\text{ve } E(t) = \frac{T(E)}{P_E}$$

denklemleri yardımıyla bulunur.

w-fonksiyonunun $w=P.M(s)$ olduğu hatırlanırsa $M(s)$ 'in normal ve eksponansiyel dağılımlarda aldığı değerler tablo B.4'de gösterilmektedir.

Tablo B.4 MGF değerleri

	NORMAL	EKSPONANSİYEL
$M(s)$	$\text{EXP}(\mu s)$	$1/(1 - \mu s)$

Burada μ sembolü, aktivitelere ait ortalama değeridir.

EK B2.1 GERT yöntemine ait hesaplar

Safhalara ait eşdeğer w-fonksiyonlarını bulursak eşdeğer olasılık ve eşdeğer beklenen zaman değerlerini bulabiliriz.

$$w_{1,41}(s) = w_{1,2} \cdot (w_{2,3} \cdot w_{3,4} \cdot w_{4,5} + w_{2,5}) \cdot w_{5,6} \cdot w_{6,8} \cdot w_{8,10} \cdot w_{10,12} \cdot w_{12,14} \cdot w_{14,16} \cdot w_{16,41} \cdot \frac{1}{(1-w_{8,8})(1-w_{14,14})}$$

$$w_{1,42}(s) = w_{1,2} \cdot (w_{2,3} \cdot w_{3,4} \cdot w_{4,5} + w_{2,5}) \cdot w_{5,6} \cdot w_{6,8} \cdot w_{8,10} \cdot w_{10,12} \cdot w_{12,14} \cdot w_{14,16} \cdot w_{16,42} \cdot \frac{1}{(1-w_{8,8})(1-w_{14,14})}$$

$$w_{1,47}(s) = w_{1,2} \cdot (w_{2,3} \cdot w_{3,4} \cdot w_{4,5} + w_{2,5}) \cdot w_{5,7} \cdot w_{7,9} \cdot w_{9,11} \cdot w_{11,13} \cdot w_{13,15} \cdot w_{15,17} \cdot w_{17,47} \cdot \frac{1}{(1-w_{9,9})(1-w_{15,15})}$$

$$w_{1,48}(s) = w_{1,2} \cdot (w_{2,3} \cdot w_{3,4} \cdot w_{4,5} + w_{2,5}) \cdot w_{5,7} \cdot w_{7,9} \cdot w_{9,11} \cdot w_{11,13} \cdot w_{13,15} \cdot w_{15,17} \cdot w_{17,48} / [(1-w_{9,9})(1-w_{15,15})]$$

$$w_{1,49}(s) = w_{1,2} \cdot (w_{2,3} \cdot w_{3,4} \cdot w_{4,5} + w_{2,5}) \cdot w_{5,7} \cdot w_{7,9} \cdot w_{9,11} \cdot w_{11,13} \cdot w_{13,15} \cdot w_{15,17} \cdot w_{17,49} / [(1-w_{9,9})(1-w_{15,15})]$$

$$w_{1,50}(s) = w_{1,2} \cdot (w_{2,3} \cdot w_{3,4} \cdot w_{4,5} + w_{2,5}) \cdot w_{5,7} \cdot w_{7,9} \cdot w_{9,11} \cdot w_{11,13} \cdot w_{13,15} \cdot w_{15,17} \cdot w_{17,50} / [(1-w_{9,9})(1-w_{15,15})]$$

$$w_{18,41}(s) = w_{18,19} \cdot w_{19,20} \cdot w_{20,22} \cdot w_{22,29} \cdot w_{29,36} \cdot w_{36,37} \cdot w_{37,39} \cdot w_{39,41} / (1-w_{29,29})$$

$$w_{18,42}(s) = w_{18,19} \cdot w_{19,20} \cdot w_{20,22} \cdot w_{22,29} \cdot w_{29,36} \cdot w_{36,38} \cdot w_{38,40} \cdot w_{40,42} / (1-w_{29,29})$$

$$w_{18,47}(s) = w_{18,19} \cdot w_{19,21} \cdot w_{21,23} \cdot w_{23,30} \cdot w_{30,47} / (1-w_{30,30})$$

$$w_{18,48}(s) = w_{18,19} \cdot w_{19,21} \cdot w_{21,24} \cdot w_{24,31} \cdot w_{31,48} / (1-w_{31,31})$$

$$w_{18,49}(s) = w_{18,19} \cdot w_{19,21} \cdot w_{21,25} \cdot w_{25,32} \cdot w_{32,49} / (1-w_{32,32})$$

$$w_{18,50}(s) = w_{18,19} \cdot w_{19,21} \cdot w_{21,26} \cdot w_{26,33} \cdot w_{33,50} / (1-w_{33,33})$$

$$w_{18,27,51}(s) = w_{18,19} \cdot w_{19,21} \cdot w_{21,27} \cdot w_{27,34} \cdot w_{34,51} / (1-w_{34,34})$$

$$w_{18,28,51}(s) = w_{18,19} \cdot w_{19,21} \cdot w_{21,28} \cdot w_{28,35} \cdot w_{35,51} / (1-w_{35,35})$$

Yukarıda tanımlanan profil hazırlama ve levha hazırlama safhalarına ait eşdeğer w-fonksiyonlarından bulunan eşdeğer olasılık ve eşdeğer beklenen zaman değerleri tablo B.5'de verilmektedir.

41, 42, 47, 48, 49, 50 ve 51 düğümleri AND düğümleri olduğu için, bu düğümlerin EXOR tipi düğümlere dönüştürülmesi gerekir. 41 nolu düğüme iki giriş vardır. Bunlar 1-41 ve 18-41 girişleridir. 1-41 girişinin eşdeğer olasılığı %28.68 ve eşdeğer beklenen zamanı da 0.791 saattir. 0.791 saat değeri tek bir profil için bulunan değerdir. Oysa 41 nolu düğüme 14 profil girmektedir. Dolayısıyla 14 profil için gerekli eşdeğer beklenen zaman = $0.791 + 13 \times 0.32 = 4.951$ saat olarak bulunur. Buradaki 0.32 saat değeri, profil hazırlama safhasındaki en uzun süreli aktivitenin ortalama değeridir. Bir profil için geçen zaman t ise, n profil için geçen süre = $t + (n-1) \times (\text{şebekedeki en uzun süreli aktivitenin ortalama değeri})$ şeklinde hesaplanır. Çünkü bir profile delik açılırken arkadan gelen profil kesiliyor ya da düzeltiliyor olabilir. Dolayısıyla profiller arasında bir faz farkı vardır. Bu faz farkı 0.32 saattir.

Tablo B.5 Profil ve levha hazırlama safhalarına ait GERT yöntemi sonuçları

SAFHA	OLASILIK (%)	DÜĞÜMLER ARASI	BEKLENEN SÜRE (saat)
PROFİL HAZIRLAMA	28.68	1-41	0.791
	28.68	1-42	0.791
	2.12	1-47	1.686
	6.37	1-48	1.686
	25.49	1-49	1.686
	4.25	1-50	1.686
LEVHA HAZIRLAMA	20.16	18-41	2.211
	27.84	18-42	2.211
	4.0	18-47	1.990
	8.0	18-48	2.062
	23.97	18-49	1.065
	8.0	18-50	0.707
	4.0	18-27-51	0.580
	4.0	18-28-51	1.990

18-41 girişinin eşdeğer olasılığı %20.16 ve eşdeğer beklenen zamanı da 2.211 saattir. 2.211 saat değeri iki levha için bulunan değerdir. Oysa 41 nolu düğüme 5 levha girmektedir. Dolayısıyla 5 levha için gereken eşdeğer beklenen zaman=2.211+2×1.5=5.211 saat olarak bulunur. Buradaki 1.5 saat değeri, levha hazırlama safhasındaki en uzun süreli aktivitenin ortalama değeridir. Yani faz farkı 1.5 saattir. 41 nolu AND düğümü EXOR tipi düğüme dönüştürüldüğünde, bu düğüme kadar olan eşdeğer olasılık bu düğüme yönelen dalların eşdeğer olasılıkları çarpımıdır. Yani %28.68×%20.16=%5.78 değeri elde edilir. EXOR tipine dönüşüm olduğundan, 41 nolu düğüme kadar beklenen eşdeğer zaman, 41 nolu düğüme yönelen dalların eşdeğer beklenen zamanlarının en büyüğüdür. Yani 5.211 saattir. Böylece 41 nolu AND düğümü EXOR tipi düğüme dönüşmüş olur. Aynı mantık 42, 47, 48, 49, 50 ve 51 nolu AND düğümleri için de geçerlidir. 18-42 düğümleri arasındaki faz farkı 1.5 saat olup, 18-42 düğümleri arası beklenen toplam süre 2.21+3×1.5=6.71 saat olarak bulunur. Dönüşümler sonucu bulunan değerler tablo 5.10'da gösterilmektedir.

Daha sonra panel hattı safhasına ait eşdeğer w-fonksiyonları bulunur. Bunlar;

$$w_{18,42,65}(s) = (w_{18,42} \cap w_{1,42}) \cdot w_{42,44} \cdot w_{44,46} \cdot w_{46,65}$$

$w_{18,41,69}(s) = (w_{18,41} \cap w_{1,41}) \cdot w_{41,43} \cdot w_{43,45} \cdot w_{45,69}$ fonksiyonlarıdır. Buradaki $(w_{18,42} \cap w_{1,42})$ ve $(w_{18,41} \cap w_{1,41})$ gösterimleri 41 ve 42 nolu düğümlerin AND düğümü olduklarını ve bunların EXOR tipi düğüme dönüştürüldükleri gösterir.

Benzer şekilde matris yapı imalatı safhası için de eşdeğer w-fonksiyonları hesaplanır. Bunlar;

$$w_{18,47,62}(s) = (w_{18,47} \cap w_{1,47}) \cdot w_{47,52} \cdot w_{52,57} \cdot w_{57,62}$$

$$w_{18,48,62}(s) = (w_{18,48} \cap w_{1,48}) \cdot w_{48,53} \cdot w_{53,58} \cdot w_{58,62}$$

$$w_{18,48,65}(s) = (w_{18,48} \cap w_{1,48}) \cdot w_{48,53} \cdot w_{53,58} \cdot w_{58,65}$$

$$w_{1,50,62}(s) = (w_{18,50} \cap w_{1,50}) \cdot w_{50,55} \cdot w_{55,60} \cdot w_{60,62}$$

$$w_{1,62,65}(s) = (w_{18,47,62} \cap w_{18,48,62} \cap w_{1,50,62}) \cdot w_{62,63} \cdot w_{63,64} \cdot w_{64,65}$$

$$w_{1,49,65}(s) = (w_{18,49} \cap w_{1,49}) \cdot w_{49,54} \cdot w_{54,59} \cdot w_{59,65}$$

$$w_{18,51,65}(s) = (w_{18,27,51} \cap w_{18,28,51}) \cdot w_{51,56} \cdot w_{56,61} \cdot w_{61,65}$$

Aynı şekilde montaj (fabrikasyon) safhasının da eşdeğer w-fonksiyonları aşağıdaki tanımlanır.

$$w_{1,49,65}(s) = (w_{1,62,65} \cap w_{18,48,65} \cap w_{1,49,65} \cap w_{18,51,65} \cap w_{18,42,65})$$

$$w_{1,49,65,69}(s) = (w_{1,49,65} \cdot w_{65,66} \cdot w_{66,67} \cdot w_{67,68} \cdot w_{68,69}) \cap w_{18,41,69}$$

$$w_{1,49,65,69,73}(s) = (w_{1,49,65,69} \cdot w_{69,70} \cdot w_{70,71} \cdot w_{71,73}) \cap w_{72,73}$$

$$w_{1,49,65,69,73,75}(s) = w_{1,49,65,69,73} \cdot w_{73,74} \cdot w_{74,75}$$

Panel hattı, matris yapı imalatı ve montaj safhalarının eşdeğer olasılıkları ve eşdeğer beklenen zamanları tablo B.6'da verilmektedir.

Matris yapı imalatı safhasındaki 18-48-58-65, 1-49-65 ve 18-51-65 düğümleri arasında sırasıyla 2 adet C03, 32 adet C22 ve 2 adet D02 imalatı gerçekleştirilir. Bu yüzden toplam imalat süreleri, C03, C22 ve D02 imalat yolundaki faz farkı bulunarak elde edilir. Yani C03 için beklenen toplam süre $4.929 + 2.182 = 7.111$ saat, C22 için toplam beklenen süre $2.9832 + 31 \times 0.8727 = 30.0369$ saat ve son olarak D02 için beklenen toplam süre ise

$10.9+5.5=16.4$ saat olarak bulunur. Böylece tablo 5.10'daki matris yapı imalatı safhasına ait değerler elde edilir.

Tablo B.6 Panel hattı, matris yapı imalatı ve montaj safhalarına ait GERT yöntemi sonuçları

SAFHA	OLASILIK (%)	DÜĞÜMLER ARASI	BEKLENEN SÜRE (saat)
PANEL HATTI	7.98	18-42-65	24.75
	5.78	18-41-69	23.25
MATRİS YAPI İMALATI	0	1-62-65	18.188
	0.255	18-48-58-65	4.929
	6.11	1-49-65	2.983
	0.16	18-51-65	10.9
MONTAJ	0	1-49-65-69	51.257
	0	1-49-65-69-73	67.424
	0	1-49-65-69-73-75	85.357

EK B2.2 PNET yöntemine ait hesaplar

Bu yöntemin uygulanmasında da bir safhanın çıktısı takibeden safhanın girdisi kabul edilerek sonuca adım adım gidilecektir. Önce profil hazırlama safhasını ele alalım ve 1-41 ve 1-42 düğümleri arasını inceleyelim. Bu düğümler arasındaki yollar ve onlarla ilişkili ortalama ve standart sapma değerleri sırasıyla tablo B.7 ve tablo B.8'de verilmektedir.

Tablo B.7 1-41 düğümleri arasındaki aktiviteler ve onlarla ilişkili değerler

YOL	YOL ÜZERİNDEKİ AKTİVİTELER	Ortalama süresi (saat)	Standart sapma (saat)
π_1	1-2,2-3,3-4,4-5,5-6,6-8,8-8,8-10,10-12,12-14,14-14,14-16,16-41	0.97	0.04024
π_2	1-2,2-3,3-4,4-5,5-6,6-8,8-8,8-10,10-12,12-14,14-16,16-41	0.925	0.0399
π_3	1-2,2-3,3-4,4-5,5-6,6-8,8-10,10-12,12-14,14-16,16-41	0.88	0.0397
π_4	1-2,2-5,5-6,6-8,8-8,8-10,10-12,12-14,14-14,14-16,16-41	0.865	0.0395
π_5	1-2,2-5,5-6,6-8,8-8,8-10,10-12,12-14,14-16,16-41	0.82	0.0392
π_6	1-2,2-5,5-6,6-8,8-10,10-12,12-14,14-16,16-41	0.775	0.0389

$\rho_{1,2}$, $\rho_{1,3}$, $\rho_{1,4}$, $\rho_{1,5}$ ve $\rho_{1,6}$ korelasyon değerleri 0.5'den büyük olduğundan dolayı 1-41 düğümleri arasındaki temsili yol π_1 olur. Temsili yolun ortalama süresi 0.97 saat ve standart sapma değeri 0.04024 değeridir. 1-41 düğümleri arası 14 profil işlem görür. Dolayısıyla 14 profil için geçen toplam ortalama süre $0.97+13 \times 0.32=5.13$ saat, standart sapma değeri de 0.122 olduğu görülür. Böylece 1-41 düğümleri arası beklenen toplam süre $3 \times 0.122+5.13=5.496$ olarak bulunur.

$\rho_{7,8}$, $\rho_{7,9}$, $\rho_{7,10}$, $\rho_{7,11}$ ve $\rho_{7,12}$ değerleri 0.5'den büyük olduğundan dolayı 1-42 düğümleri arasındaki temsili yol da π_7 olur. 1-42 düğümleri arası beklenen toplam süre hesabı, 1-41 düğümleri arası beklenen toplam sürenin hesabına benzer şekilde yapılır ve 5.496 olarak bulunur.

ÖZGEÇMİŞ

Aykut İbrahim ÖLÇER 11 Eylül 1968 tarihinde Diyarbakır Silvan'da doğdu. Liseyi 1985 senesinde Pendik Lisesi'nde tamamladı. Aynı sene İstanbul Teknik Üniversitesi Gemi İnşaatı ve Deniz Bilimleri Fakültesi Gemi İnşaatı Mühendisliği bölümüne girdi ve 1990 yaz döneminde bu bölümden iyi derece ile mezun oldu. 1991 - 1992 öğretim yılında İ.T.Ü Fen Bilimleri Enstitüsü Gemi İnşaatı mühendisliği programında yüksek lisans öğrenimine başladı. Yüksek lisans öğrenimi boyunca T.C. Gemi Sanayi A.Ş.'den karşılıklı, TÜBİTAK'tan karşılıksız yüksek lisans bursu aldı.



Şimdi de 1-47, 1-48, 1-49 ve 1-50 düğümleri arasını inceleyelim. Bu düğümler arasındaki yollar ve onlarla ilişkili ortalama ve standart sapma değerleri sırasıyla tablo B.9, tablo B.10, tablo B.11 ve tablo B.12'de verilmektedir.

Tablo B.8 1-42 düğümleri arasındaki aktiviteler ve onlarla ilişkili değerler

YOL	YOL ÜZERİNDEKİ AKTİVİTELER	Ortalama süresi (saat)	Standart sapma (saat)
π_7	1-2,2-3,3-4,4-5,5-6,6-8,8-8,8-10,10-12,12-14,14-14,14-16,16-42	0.97	0.04024
π_8	1-2,2-3,3-4,4-5,5-6,6-8,8-8,8-10,10-12,12-14,14-16,16-42	0.925	0.0399
π_9	1-2,2-3,3-4,4-5,5-6,6-8,8-10,10-12,12-14,14-16,16-42	0.88	0.0397
π_{10}	1-2,2-5,5-6,6-8,8-8,8-10,10-12,12-14,14-14,14-16,16-42	0.865	0.0395
π_{11}	1-2,2-5,5-6,6-8,8-8,8-10,10-12,12-14,14-16,16-42	0.82	0.0392
π_{12}	1-2,2-5,5-6,6-8,8-10,10-12,12-14,14-16,16-42	0.775	0.0389

Tablo B.9 1-47 düğümleri arasındaki aktiviteler ve onlarla ilişkili değerler

YOL	YOL ÜZERİNDEKİ AKTİVİTELER	Ortalama süresi (saat)	Standart sapma (saat)
π_{13}	1-2,2-3,3-4,4-5,5-7,7-9,9-9,9-11,11-13,13-15,15-15,15-17,17-47	1.865	0.09985
π_{14}	1-2,2-3,3-4,4-5,5-7,7-9,9-11,11-13,13-15,15-15,15-17,17-47	1.82	0.09975
π_{15}	1-2,2-3,3-4,4-5,5-7,7-9,9-11,11-13,13-15,15-17,17-47	1.775	0.09965
π_{16}	1-2,2-5,5-7,7-9,9-9,9-11,11-13,13-15,15-15,15-17,17-47	1.76	0.09956
π_{17}	1-2,2-5,5-7,7-9,9-11,11-13,13-15,15-15,15-17,17-47	1.715	0.09946
π_{18}	1-2,2-5,5-7,7-9,9-11,11-13,13-15,15-17,17-47	1.67	0.09935

$\rho_{13\ 14}$, $\rho_{13\ 15}$, $\rho_{13\ 16}$, $\rho_{13\ 17}$ ve $\rho_{13\ 18}$ korelasyon değerleri 0.5'den büyük olduğundan dolayı 1-47 düğümleri arasındaki temsili yol π_{13} olur. $\rho_{19\ 20}$, $\rho_{19\ 21}$, $\rho_{19\ 22}$, $\rho_{19\ 23}$ ve $\rho_{19\ 24}$ korelasyon değerleri 0.5'den büyük olduğundan dolayı 1-48 düğümleri arasındaki temsili yol π_{19} olur. $\rho_{25\ 26}$, $\rho_{25\ 27}$, $\rho_{25\ 28}$, $\rho_{25\ 29}$ ve $\rho_{25\ 30}$ korelasyon değerleri 0.5'den büyük olduğundan dolayı 1-49 düğümleri arasındaki temsili yol π_{25} olur. $\rho_{31\ 32}$, $\rho_{31\ 33}$, $\rho_{31\ 34}$, $\rho_{31\ 35}$ ve $\rho_{31\ 36}$ korelasyon değerleri 0.5'den büyük olduğundan dolayı 1-50 düğümleri arasındaki temsili yol π_{31} olur. 1-47, 1-48, 1-49 ve 1-50 düğümleri arası temsili yolların ortalama süreleri ve standart sapma değerleri aynı olduğundan bu düğümler arası beklenen toplam süreler de aynı olacaktır. Bu temsili yolların ortalama süreleri 1.865 saat ve standart sapma değerleri 0.09985'dirler. %99.87 olasılık değeri için, tablo 4.3'den yararlanılarak 1-47, 1-48, 1-49 ve 1-50 düğümleri arası beklenen toplam süre $3 \times 0.09985 + 1.865 = 2.165$ saat olarak bulunur.

Tablo B.10 1-48 düğümleri arasındaki aktiviteler ve onlarla ilişkili değerler

YOL	YOL ÜZERİNDEKİ AKTİVİTELER	Ortalama süresi (saat)	Standart sapma (saat)
π_{19}	1-2,2-3,3-4,4-5,5-7,7-9,9-9,9-11,11-13,13-15,15-15,15-17,17-48	1.865	0.09985
π_{20}	1-2,2-3,3-4,4-5,5-7,7-9,9-11,11-13,13-15,15-15,15-17,17-48	1.82	0.09975
π_{21}	1-2,2-3,3-4,4-5,5-7,7-9,9-11,11-13,13-15,15-17,17-48	1.775	0.09965
π_{22}	1-2,2-5,5-7,7-9,9-9,9-11,11-13,13-15,15-15,15-17,17-48	1.76	0.09956
π_{23}	1-2,2-5,5-7,7-9,9-11,11-13,13-15,15-15,15-17,17-48	1.715	0.09946
π_{24}	1-2,2-5,5-7,7-9,9-11,11-13,13-15,15-17,17-48	1.67	0.09935

Tablo B.11 1-49 düğümleri arasındaki aktiviteler ve onlarla ilişkili değerler

YOL	YOL ÜZERİNDEKİ AKTİVİTELER	Ortalama süresi (saat)	Standart sapma (saat)
π_{25}	1-2,2-3,3-4,4-5,5-7,7-9,9-9,9-11,11-13,13-15,15-15,15-17,17-49	1.865	0.09985
π_{26}	1-2,2-3,3-4,4-5,5-7,7-9,9-11,11-13,13-15,15-15,15-17,17-49	1.82	0.09975
π_{27}	1-2,2-3,3-4,4-5,5-7,7-9,9-11,11-13,13-15,15-17,17-49	1.775	0.09965
π_{28}	1-2,2-5,5-7,7-9,9-9,9-11,11-13,13-15,15-15,15-17,17-49	1.76	0.09956
π_{29}	1-2,2-5,5-7,7-9,9-11,11-13,13-15,15-15,15-17,17-49	1.715	0.09946
π_{30}	1-2,2-5,5-7,7-9,9-11,11-13,13-15,15-17,17-49	1.67	0.09935

Tablo B.12 1-50 düğümleri arasındaki aktiviteler ve onlarla ilişkili değerler

YOL	YOL ÜZERİNDEKİ AKTİVİTELER	Ortalama süresi (saat)	Standart sapma (saat)
π_{31}	1-2,2-3,3-4,4-5,5-7,7-9,9-9,9-11,11-13,13-15,15-15,15-17,17-50	1.865	0.09985
π_{32}	1-2,2-3,3-4,4-5,5-7,7-9,9-11,11-13,13-15,15-15,15-17,17-50	1.82	0.09975
π_{33}	1-2,2-3,3-4,4-5,5-7,7-9,9-11,11-13,13-15,15-17,17-50	1.775	0.09965
π_{34}	1-2,2-5,5-7,7-9,9-9,9-11,11-13,13-15,15-15,15-17,17-50	1.76	0.09956
π_{35}	1-2,2-5,5-7,7-9,9-11,11-13,13-15,15-15,15-17,17-50	1.715	0.09946
π_{36}	1-2,2-5,5-7,7-9,9-11,11-13,13-15,15-17,17-50	1.67	0.09935

Benzer işlemleri levha hazırlama safhası için de yapalım. İlk önce 18-41 ve 18-42 düğümleri arasını inceleyelim. Bu düğümler arasındaki yollar ve onlarla ilişkili ortalama ve standart sapma değerleri sırasıyla tablo B.13 ve tablo B.14'de verilmektedir.

Tablo B.13 18-41 düğümleri arasındaki aktiviteler ve onlarla ilişkili değerler

YOL	YOL ÜZERİNDEKİ AKTİVİTELER	Ortalama süresi (saat)	Standart sapma (saat)
π_{37}	18-19,19-20,20-22,22-29,29-29,29-36,36-37,37-39,39-41	2.26	0.156
π_{38}	18-19,19-20,20-22,22-29,29-36,36-37,37-39,39-41	2.21	0.1559

Tablo B.14 18-42 düğümleri arasındaki aktiviteler ve onlarla ilişkili değerler

YOL	YOL ÜZERİNDEKİ AKTİVİTELER	Ortalama süresi (saat)	Standart sapma (saat)
π_{39}	18-19,19-20,20-22,22-29,29-29,29-36,36-38,38-40,40-42	2.26	0.156
π_{40}	18-19,19-20,20-22,22-29,29-36,36-38,38-40,40-42	2.21	0.1559

$\rho_{37\ 38}$ ve $\rho_{39\ 40}$ korelasyon değerleri 0.5'den büyük olduğundan dolayı 18-41 düğümleri arasındaki temsili yol π_{37} , 18-42 düğümleri arasındaki temsili yol da π_{39} olur. Her iki temsili yolunda ortalama süresi 2.26 saat, standart sapma değeri ise 0.156'dır. 41 nolu düğüme E03 ürünü gittiğinden beş levha kaynatılmıştır. Bu yüzden faz farkı 1.5 saat olup ortalama süre $2.26+2 \times 1.5=5.26$ saat, standart sapma değeri de 0.263 olarak hesaplanır. %99.87 olasılık değeri için, tablo 4.3'den yararlanılarak toplam beklenen süre $5.26+3 \times 0.263=6.049$ saat olarak bulunur. 42 nolu düğüme E01 ürünü gittiğinden yedi levha kaynatılmıştır. Bu yüzden faz farkı 1.5 saat olup ortalama süre $2.26+3 \times 1.5=6.76$ saat, standart sapma değeri de 0.303 olarak hesaplanır. %99.87 olasılık değeri için, tablo 4.3'den yararlanılarak toplam beklenen süre $6.76+3 \times 0.303=7.669$ saat olarak bulunur.

18-41 ve 18-42 düğümleri arası incelendikten sonra 18-47, 18-48, 18-49, 18-50, 18-27-51 ve 18-28-51 düğümleri arası incelenir. Bu düğümler arasındaki yollar ve onlarla ilişkili ortalama ve standart sapma değerleri sırasıyla tablo B.15, tablo B.16, tablo B.17, tablo B.18, tablo B.19 ve tablo B.20'de verilmektedir.

Tablo B.15 18-47 düğümleri arasındaki aktiviteler ve onlarla ilişkili değerler

YOL	YOL ÜZERİNDEKİ AKTİVİTELER	Ortalama süresi (saat)	Standart sapma (saat)
π_{41}	18-19,19-21,21-23,23-30,30-30,30-47	2.018	0.1579
π_{42}	18-19,19-21,21-23,23-30,30-47	1.988	0.15787

$\rho_{41 \ 42}$ korelasyon değeri 0.5'den büyük olduğundan dolayı 18-47 düğümleri arasındaki temsili yol π_{41} olur. Temsili yolun ortalama süresi 2.018 saat, standart sapma değeri de 0.1579'dur. Faz farkı sıfırdır. Dolayısıyla %99.87 olasılık değeri için, tablo 4.3'den yararlanılarak toplam beklenen süre $3 \times 0.1579 + 2.018 = 2.492$ saat olarak bulunur.

Tablo B.16 18-48 düğümleri arasındaki aktiviteler ve onlarla ilişkili değerler

YOL	YOL ÜZERİNDEKİ AKTİVİTELER	Ortalama süresi (saat)	Standart sapma (saat)
π_{43}	18-19,19-21,21-24,24-31,31-31,31-48	2.09	0.1648
π_{44}	18-19,19-21,21-24,24-31,31-48	2.06	0.16477

$\rho_{43 \ 44}$ korelasyon değeri 0.5'den büyük olduğundan dolayı 18-48 düğümleri arasındaki temsili yol π_{43} olur. Temsili yolun ortalama süresi 2.09 saat, standart sapma değeri de 0.1648'dir. Faz farkı sıfırdır. Dolayısıyla %99.87 olasılık değeri için, tablo 4.3'den yararlanılarak toplam beklenen süre $3 \times 0.1648 + 2.09 = 2.584$ saat olarak bulunur.

Tablo B.17 18-49 düğümleri arasındaki aktiviteler ve onlarla ilişkili değerler

YOL	YOL ÜZERİNDEKİ AKTİVİTELER	Ortalama süresi (saat)	Standart sapma (saat)
π_{45}	18-19,19-21,21-25,25-32,32-32,32-49	1.198	0.07307
π_{46}	18-19,19-21,21-25,25-32,32-49	1.064	0.07183

$\rho_{45 \ 46}$ korelasyon değeri 0.5'den büyük olduğundan dolayı 18-49 düğümleri arasındaki temsili yol π_{45} olur. Temsili yolun ortalama süresi 1.198 saat, standart sapma değeri de 0.07307'dir. Faz farkı sıfırdır. Dolayısıyla

%99.87 olasılık değeri için, tablo 4.3'den yararlanılarak toplam beklenen süre $3 \times 0.07307 + 1.198 = 1.417$ saat olarak bulunur.

Tablo B.18 18-50 düğümleri arasındaki aktiviteler ve onlarla ilişkili değerler

YOL	YOL ÜZERİNDEKİ AKTİVİTELER	Ortalama süresi (saat)	Standart sapma (saat)
π_{47}	18-19,19-21,21-26,26-33,33-33,33-50	0.714	0.041
π_{48}	18-19,19-21,21-26,26-33,33-50	0.707	0.04099

$\rho_{47 \ 48}$ korelasyon değeri 0.5'den büyük olduğundan dolayı 18-50 düğümleri arasındaki temsili yol π_{47} olur. Temsili yolun ortalama süresi 0.714 saat, standart sapma değeri de 0.041'dir. Faz farkı sıfırdır. Dolayısıyla %99.87 olasılık değeri için, tablo 4.3'den yararlanılarak toplam beklenen süre $3 \times 0.041 + 0.714 = 0.837$ saat olarak bulunur.

$\rho_{49 \ 50}$ korelasyon değeri 0.5'den büyük olduğundan dolayı 18-27-51 düğümleri arasındaki temsili yol π_{49} olur. Temsili yolun ortalama süresi 0.584 saat, standart sapma değeri de 0.03178'dir. 51 nolu düğüme 16 adet 1.26 m yarıçaplı 1/4 daire dilimi gelir. Faz farkı 0.22 saattir. 16 adet levha için toplam ortalama süre $0.584 + 15 \times 0.22 = 3.88$ saat, standart sapma değeri de 0.09094 olarak elde edilir. Dolayısıyla %99.87 olasılık değeri için, tablo 4.3'den yararlanılarak toplam beklenen süre $3 \times 0.09094 + 3.88 = 4.153$ saat olarak bulunur.

Tablo B.19 18-27-51 düğümleri arasındaki aktiviteler ve onlarla ilişkili değerler

YOL	YOL ÜZERİNDEKİ AKTİVİTELER	Ortalama süresi (saat)	Standart sapma (saat)
π_{49}	18-19,19-21,21-27,27-34,34-34,34-51	0.584	0.03178
π_{50}	18-19,19-21,21-27,27-34,34-51	0.58	0.031777

Tablo B.20 18-28-51 düğümleri arasındaki aktiviteler ve onlarla ilişkili değerler

YOL	YOL ÜZERİNDEKİ AKTİVİTELER	Ortalama süresi (saat)	Standart sapma (saat)
π_{51}	18-19,19-21,21-28,28-35,35-51	2.018	0.1579
π_{52}	18-19,19-21,21-28,28-35,35-51	1.988	0.15787

$\rho_{51\ 52}$ korelasyon değeri 0.5'den büyük olduğundan dolayı 18-28-51 düğümleri arasındaki temsili yol π_{51} olur. Temsili yolun ortalama süresi 2.018 saat, standart sapma değeri de 0.1579'dur. Faz farkı sıfırdır. Dolayısıyla %99.87 olasılık değeri için, tablo 4.3'den yararlanılarak toplam beklenen süre $3 \times 0.1579 + 2.018 = 2.492$ saat olarak bulunur.

Panel hattı safhasında ise 18-41-69 ve 18-42-65 düğümleri arası incelenir. Bu düğümler arasındaki yollar ve onlarla ilişkili ortalama ve standart sapma değerleri sırasıyla tablo B.21 ve tablo B.22'de verilmektedir.

Tablo B.21 18-41-69 düğümleri arasındaki aktiviteler ve onlarla ilişkili değerler

YOL	YOL ÜZERİNDEKİ AKTİVİTELER	Ortalama süresi (saat)	Standart sapma (saat)
π_{53}	18-41,41-43,43-45,45-69	23.3	1.53
π_{54}	1-41,41-43,43-45,45-69	23.17	1.513

$\rho_{53\ 54}$ korelasyon değeri 0.5'den büyük olduğundan dolayı 18-41-69 düğümleri arasındaki temsili yol π_{53} olur. 69 nolu düğüme bir adet F03 ürünü gider. Faz farkı sıfırdır. Dolayısıyla %99.87 olasılık değeri için, tablo 4.3'den yararlanılarak toplam beklenen süre $3 \times 1.53 + 23.13 = 27.89$ saat olarak bulunur.

Tablo B.22 18-42-65 düğümleri arasındaki aktiviteler ve onlarla ilişkili değerler

YOL	YOL ÜZERİNDEKİ AKTİVİTELER	Ortalama süresi (saat)	Standart sapma (saat)
π_{55}	18-42,42-44,44-46,46-65	24.8	1.538
π_{56}	1-42,42-44,44-46,46-65	23.17	1.513

$\rho_{55\ 56}$ korelasyon değeri 0.5'den büyük olduğundan dolayı 18-42-65 düğümleri arasındaki temsili yol π_{55} olur. 65 nolu düğüme bir adet F01 ürünü gider. Faz farkı sıfırdır. Dolayısıyla %99.87 olasılık değeri için, tablo 4.3'den yararlanılarak toplam beklenen süre $3 \times 1.538 + 24.8 = 29.414$ saat olarak bulunur.

Temsili yolların bulunması için yapılan işlemler matris yapı imalatı safhasında da yapılır. Böylece 18-47-62, 18-48-62, 18-48-65, 1-49-65, 1-62-65 ve 18-51-65 düğümleri arası incelenir. Bu düğümler arasındaki yollar ve onlarla ilişkili ortalama ve standart sapma değerleri sırasıyla tablo B.23, tablo B.24, tablo B.25, tablo 5.26, tablo 5.27 ve tablo 5.28'de verilmektedir.

Tablo B.23 18-47-62 düğümleri arasındaki aktiviteler ve onlarla ilişkili değerler

YOL	YOL ÜZERİNDEKİ AKTİVİTELER	Ortalama süresi (saat)	Standart sapma (saat)
π_{57}	18-47,47-52,52-57,57-62	5.76	0.337
π_{58}	1-47,47-52,52-57,57-62	5.607	0.314

$\rho_{57\ 58}$ korelasyon değeri 0.5'den büyük olduğundan dolayı 18-47-62 düğümleri arasındaki temsili yol π_{57} olur.

$\rho_{59\ 60}$ korelasyon değeri 0.5'den büyük olduğundan dolayı 18-48-62 düğümleri arasındaki temsili yol π_{59} olur.

$\rho_{61\ 62}$ korelasyon değeri 0.5'den büyük olduğundan dolayı 18-48-65 düğümleri arasındaki temsili yol π_{61} olur. 65 nolu düğüme 2 adet C03 gelir. Faz farkı 2.182 saattir. 2 adet C03 için toplam ortalama süre $4.958 + 1 \times 2.182 = 7.14$ saat, standart sapma değeri de 0.353 olarak elde edilir. Dolayısıyla %99.87 olasılık değeri için, tablo 4.3'den yararlanılarak toplam beklenen süre $3 \times 0.353 + 7.14 = 8.2$ saat olarak bulunur.

Tablo B.24 18-48-62 düğümleri arasındaki aktiviteler ve onlarla ilişkili değerler

YOL	YOL ÜZERİNDEKİ AKTİVİTELER	Ortalama süresi (saat)	Standart sapma (saat)
π_{59}	18-48,48-53,53-58,58-62	4.958	0.278
π_{60}	1-48,48-53,53-58,58-62	4.733	0.245

Tablo B.25 18-48-65 düğümleri arasındaki aktiviteler ve onlarla ilişkili değerler

YOL	YOL ÜZERİNDEKİ AKTİVİTELER	Ortalama süresi (saat)	Standart sapma (saat)
π_{61}	18-48,48-53,53-58,58-65	4.958	0.278
π_{62}	1-48,48-53,53-58,58-65	4.733	0.245

Tablo B.26 1-49-65 düğümleri arasındaki aktiviteler ve onlarla ilişkili değerler

YOL	YOL ÜZERİNDEKİ AKTİVİTELER	Ortalama süresi (saat)	Standart sapma (saat)
π_{63}	1-49,49-54,54-59,59-65	3.1622	0.13607
π_{64}	18-49,49-54,54-59,59-65	2.4952	0.11783

$\rho_{63\ 64}$ korelasyon değeri 0.5'den büyük olduğundan dolayı 1-49-65 düğümleri arasındaki temsili yol π_{63} olur. 65 nolu düğüme 32 adet C22 gelir. Faz farkı 0.8727 saattir. 32 adet C22 için toplam ortalama süre $3.1622+31 \times 0.8727=30.2159$ saat, standart sapma değeri de 0.5046 olarak elde edilir. Dolayısıyla %99.87 olasılık değeri için, tablo 4.3'den yararlanılarak toplam beklenen süre $3 \times 0.5046+30.2159=31.73$ saat olarak bulunur.

$\rho_{65\ 66}$, $\rho_{65\ 67}$ ve $\rho_{65\ 68}$ korelasyon değerleri 0.5'den büyük olduğundan dolayı 1-62-65 düğümleri arasındaki temsili yol π_{65} olur. 65 nolu düğüme bir adet D01 ürünü gider. Faz farkı sıfırdır. Dolayısıyla %99.87 olasılık değeri için, tablo 4.3'den yararlanılarak toplam beklenen süre $3 \times 1.0444+19.116=22.25$ saat olarak bulunur.

Tablo B.27 1-62-65 düğümleri arasındaki aktiviteler ve onlarla ilişkili değerler

YOL	YOL ÜZERİNDEKİ AKTİVİTELER	Ortalama süresi (saat)	Standart sapma (saat)
π_{65}	18-48,48-62,62-63,63-64,64-65	19.116	1.0444
π_{66}	1-50,50-62,62-63,63-64,64-65	18.789	0.99515
π_{67}	18-50,50-62,62-63,63-64,64-65	17.638	0.99097
π_{68}	18-47,47-62,62-63,63-64,64-65	17.736	1.0391

Tablo B.28 18-51-65 düğümleri arasındaki aktiviteler ve onlarla ilişkili değerler

YOL	YOL ÜZERİNDEKİ AKTİVİTELER	Ortalama süresi (saat)	Standart sapma (saat)
π_{69}	18-27-51,51-56,56-61,61-65	10.9	0.56976
π_{70}	18-28-51,51-56,56-61,61-65	9.038	0.5842

$\rho_{69\ 70}$ korelasyon değeri 0.5'den büyük olduğundan dolayı 18-51-65 düğümleri arasındaki temsili yol π_{69} olur. 65 nolu düğüme 2 adet D02 gelir. Faz farkı 5.5 saattir. 2 adet D02 için toplam ortalama süre $10.9+1 \times 5.5=16.4$ saat, standart sapma değeri de 0.7919 olarak elde edilir. Dolayısıyla %99.87 olasılık değeri için, tablo 4.3'den yararlanılarak toplam beklenen süre $3 \times 0.7919+16.4=18.78$ saat olarak bulunur.

Son olarak montaj (fabrikasyon) safhasındaki 1-49-65-69, 1-49-65-69-73 ve 1-49-65-69-73-75 düğümleri arası incelenir. Bu düğümler arasındaki yollar ve onlarla ilişkili ortalama ve standart sapma değerleri sırasıyla tablo B.29, tablo B.30 ve tablo B.31'de verilmektedir.

Tablo B.29 1-49-65-69 düğümleri arasındaki aktiviteler ve onlarla ilişkili değerler

YOL	YOL ÜZERİNDEKİ AKTİVİTELER	Ortalama süresi (saat)	Standart sapma (saat)
π_{71}	1-49-65,65-66,66-67,67-68,68-69	51.4359	1.7699
π_{72}	18-42-65,65-66,66-67,67-68,68-69	46.02	2.2898
π_{73}	18-62-65,65-66,66-67,67-68,68-69	40.336	1.992
π_{74}	18-51-65,65-66,66-67,67-68,68-69	37.62	1.872
π_{75}	18-48-58-65,65-66,66-67,67-68,68-69	28.36	1.7328

$\rho_{71\ 72}$, $\rho_{71\ 73}$, $\rho_{71\ 74}$ ve $\rho_{71\ 75}$ korelasyon değerleri 0.5'den büyük olduğundan dolayı 1-49-65-69 düğümleri arasındaki temsili yol π_{71} olur. Temsili yolun ortalama süresi 51.4359 saat, standart sapma değeri de 1.7699'dur. Faz farkı sıfırdır. Dolayısıyla %99.87 olasılık değeri için, tablo 4.3'den yararlanılarak toplam beklenen süre $3 \times 1.7699+51.4359=56.75$ saat olarak bulunur.

Tablo B.30 1-49-65-69-73 düğümleri arasındaki aktiviteler ve onlarla ilişkili değerler

YOL	YOL ÜZERİNDEKİ AKTİVİTELER	Ortalama süresi (saat)	Standart sapma (saat)
π_{76}	1-65-69,69-70,70-71,71-73	67.6029	2.23182
π_{77}	18-41-69,69-70,70-71,71-73	39.467	2.04679

$\rho_{76,77}$ korelasyon değeri 0.5'den büyük olduğundan dolayı 1-49-65-69-73 düğümleri arasındaki temsili yol π_{76} olur. Temsili yolun ortalama süresi 67.6029 saat, standart sapma değeri de 2.23182'dir. Faz farkı sıfırdır. Dolayısıyla %99.87 olasılık değeri için, tablo 4.3'den yararlanılarak toplam beklenen süre $3 \times 2.23182 + 67.6029 = 74.3$ saat olarak bulunur.

Tablo B.31 1-49-65-69-73-75 düğümleri arasındaki aktiviteler ve onlarla ilişkili değerler

YOL	YOL ÜZERİNDEKİ AKTİVİTELER	Ortalama süresi (saat)	Standart sapma (saat)
π_{78}	1-65-69-73,73-74,74-75	85.5359	2.70251
π_{79}	72-73,73-74,74-75	18.599	1.52545

$\rho_{78,79}$ korelasyon değeri 0.5'den büyük olduğundan dolayı 1-49-65-69-73-75 düğümleri arasındaki temsili yol π_{78} olur. Temsili yolun ortalama süresi 85.5359 saat, standart sapma değeri de 2.70251'dir. Faz farkı sıfırdır. Dolayısıyla %99.87 olasılık değeri için, tablo 4.3'den yararlanılarak toplam beklenen süre $3 \times 2.70251 + 85.5359 = 93.6434$ saat olarak bulunur.

ÖZGEÇMİŞ

Aykut İbrahim ÖLÇER 11 Eylül 1968 tarihinde Diyarbakır Silvan'da doğdu. Liseyi 1985 senesinde Pendik Lisesi'nde tamamladı. Aynı sene İstanbul Teknik Üniversitesi Gemi İnşaatı ve Deniz Bilimleri Fakültesi Gemi İnşaatı Mühendisliği bölümüne girdi ve 1990 yaz döneminde bu bölümden iyi derece ile mezun oldu. 1991 - 1992 öğretim yılında İ.T.Ü Fen Bilimleri Enstitüsü Gemi İnşaatı mühendisliği programında yüksek lisans öğrenimine başladı. Yüksek lisans öğrenimi boyunca T.C. Gemi Sanayi A.Ş.'den karşılıklı, TÜBİTAK'tan karşılıksız yüksek lisans bursu aldı.

