



## Tersanelerde Yaşanan Mesleki Risklerin Analizi için Bulanık Papyon Model Önerisi

Selçuk ÇEBİ, Esra İLBAHAR

Yıldız Teknik Üniversitesi, Makine Fakültesi, Türkiye  
 scebi@yildiz.edu.tr; ORCID ID: <https://orcid.org/0000-0001-9318-1135>  
 eilbahar@yildiz.edu.tr; ORCID ID: <https://orcid.org/0000-0002-4917-0022>

### Öz

Tersanelerde yapılan üretim ağır sanayi üretimi olarak değerlendirilmektedir ve gemi üretiminin büyük bir bölümü, hâlihazırda proje tipi üretim olarak devam etmektedir. Çalışma ortamında yürütülen iş aktiviteleri ve çalışma ortam koşulları dikkate alındığında tersaneler en riskli sektörlerin arasında yer almaktadır. Tersanelerde yaşanan iş kazaları ve bu kazaların sonucunda ödenen maddi ve fiziki bedeller dikkate alındığında, tersanelerin hemen önlem alınması gereken riskli iş kollarından biri olduğu anlaşılmaktadır. Çalışmamızda, tersanelerde meydana gelen iş kazalarının ve meslek hastalıklarının analizi ve ilgili risklerin azaltılması için bulanık küme, kural tabanlı çıkarım mekanizması, analitik hiyerarşi süreci ve papyon tekniklerini içeren entegre bir risk değerlendirme yöntemi önerilmiştir. Papyon yöntemi iş kazalarına neden olan mesleki risklerin analizi için literatürde kullanımı yaygın olarak tercih edilen bir tekniktir. Metot, riskin ortaya çıkmasına neden olan temel faktörlerin ve risk gerçekleştiğinde yol açacağı sonuçların analiz edilmesi için kullanılmaktadır. Çalışmamızda literatürden farklı olarak, papyon tekniği bulanık çıkarım mekanizmasıyla birleştirilmiştir. Bir kaza gerçekleştiğinde birbirinden farklı çeşitli olumsuz durumun ortaya çıkma ihtimali vardır ve bu ihtimallerden yalnızca biri gerçekleşir. Ancak, mevcut yöntemlerde risk derecesi belirlenirken yalnızca en olası sonucun şiddeti dikkate alınır. Önerilen yöntemde ise mevcut yöntemlerden farklı olarak, şiddet tüm olumsuz sonuçların gerçekleşme ihtimallerinin bir bileşkesi olarak dikkate alınarak risk derecesi belirlenir. Böylece, geliştirilen yöntem yardımıyla tanımlanan mesleki riskler tüm olası sonuçlar dikkate alınarak derecelendirilir. Önerilen yöntemin uygulaması bir tersanede yürütülen gemi inşa faaliyetlerine uygulanmış, üretim sürecindeki iş aktivitelerinin riskleri değerlendirilmiş, faaliyetlere ilişkin risk dereceleri belirlenerek sıralanmış ve risk azaltma için alınması gereken önlem tedbirleri tanımlanmıştır.

**Anahtar Kelimeler:** Risk Analizi, Papyon Tekniği, Bulanık Mantık, Bulanık Çıkarım Mekanizması.

## Proposing Fuzzy Bow-Tie Method for Assessment of Occupational Risks at Shipyards

### Abstract

Production in the shipyards is considered as heavy industrial production, and majority of ship production is still performed in the form of project type production. Ship building is one of the riskiest regarding its activities and working conditions. The numbers of the occupational accidents and the results of the occupational injuries prove that urgent precautions should be taken for ship building industry. In this paper, an integrated risk assessment method including fuzzy sets, rule based inference system, analytic hierarchy process, and Bow-tie technique has been proposed to literature in order to consider and reduce

**To cite this article:** Çebi, S. ve İlbarhar, E. (2018). Tersanelerde Yaşanan Mesleki Risklerin Analizi için Bulanık Papyon Model Önerisi. *Journal of ETA Maritime Science*, 6(2), 141-157.

**To link to this article:** <https://dx.doi.org/10.5505/jems.2018.30932>

*occupational risks at shipyards. Bow-tie technique is widely preferred to use in analysis of occupational risks at workplace. This method is used in analyzing both the key factors that cause a risk to occur and the consequences of a risk. In the scope of this study, unlike the literature, the bow tie technique has been combined with the fuzzy inference system. When an accident takes place, there are likely to be various different outcomes, and it results in only one of these outcomes. However, the current risk assessment methods only consider the severity of the most likely outcome to predict risk magnitude. In this paper, as different from the currently used methods, the magnitudes of occupational risks are obtained by considering all the possible outcomes of a potential accident. The proposed approach has been applied for ship building process to rank risky activities, and preventive measures have been proposed to reduce risk levels.*

**Keywords:** Risk Analysis, Bow-tie Technique, Fuzzy Logic, Fuzzy Inference System.

## 1. Giriş

Ülkemizde çeşitli sanayi kollarında gerçekleşen iş kazaları ve ortaya çıkan meslek hastalıklarının önlenmesine yönelik yürütülen çalışma ve araştırmaların sayısı her geçen gün artmakta ve çeşitli uygulamalar yaygınlaşmaktadır. Organizasyonların emniyet kavramı ekseninde yürüttükleri faaliyetler, 6331 Sayılı İş Sağlığı ve Güvenliği Yasası ile birlikte denetim ve kontrol altına alınmaya çalışılmaktadır. Bu noktada, yönetmelik gereksinimlerinin iş sahalarına doğru ve etkin adaptasyonu, sürdürülebilir üretim açısından büyük önem arz etmektedir. Yasayla birlikte, endüstriyel organizasyonlar tarafından güvenilir risk analizlerinin sürekli olarak yapılması ve kaza önleyici dinamik tedbirlerin alınması gerekmektedir. Bu konuda yürütülecek ilgili çalışmaların tümünün sistematik bir şekilde yürütülmesine destek sağlayacak uygulanabilir bir yöntem ihtiyacı ortaya çıkmaktadır [1].

Dünya genelinde, tersanelerde yaşanan kazaların endüstrinin diğer kollarında rapor edilen kazalarla kıyaslandığında sayıca fazla olduğu çeşitli çalışmalarla rapor edilmiştir [2]. Türkiye’de yaşanan iş kazalarına ve meslek hastalıklarına ait istatistikleri irdelendiğinde, tersanelerde yaşanan kazaların sayısının azımsanmayacak oranda yüksek olduğu ve bu kazalarda ödenen maddi manevi (can kaybı, uzuv kaybı, iş görmezlik, tazminat

gibi) bedellerin de oldukça yüksek olduğu görülmektedir. Bu kazaların hem işletmeye ve hem de ülkeye maddi ve manevi zararı oldukça yüksektir. Bu noktada, çalışma ortamında gerçekleşmesi muhtemel iş kazalarının ve meslek hastalıklarının önlenmesi için işletmelerin risk analizlerini proaktif bir yaklaşım olarak etkin bir şekilde gerçekleştirmeleri gerekmektedir. Böylece, çalışma ortamındaki muhtemel risklerin kontrol altında tutulması ve iş kazaları oluşmadan önlenmesi hedeflenmektedir. Tersane ortamında gerçekleşebilecek riskler oldukça ciddi olmasına rağmen, tersanelerde yaşanan iş kazalarının ve meslek hastalıklarının önlenmesine yönelik literatürde yayımlanan hem uygulama hem de kavramsal çalışmaların sayısı sınırlıdır [1]. Bu nedenle, önerilen çalışmayla birlikte, hem literatürdeki bu boşluğun doldurulması hem de tersanelerde meydana gelen iş kazalarının ve meslek hastalıklarının analizi için entegre bir yöntemin geliştirilmesi amaçlanmaktadır. Kuramsal açıdan bakıldığında, literatürde risk değerlendirme için çeşitli teknikler mevcuttur ve bu teknikler, olayın meydana gelme olasılığının ve olay meydana geldiğinde yarattığı etkiye ilişkin şiddetin tahmini üzerine temellendirilmiştir. Öte yandan, işletmelerde yaşanan ve uzun süreli istirahat, uzuv kaybı ve ölüm gibi sonuçlara neden olan kazaların dışındaki diğer kazalara ilişkin kayıtlar sağlıklı olarak tutulamamaktadır. Ramak kala ve istirahat

gerektirmeyen yaralanmalarla sonuçlanan iş kazalarının kayıt altına alınmaması ve şiddeti ölçen somut bir değer birimi ya da doğrudan ölçüm yöntemi olmadığından çalışma ortamında gerçekleşen olayların olasılıkları ve şiddetleri kesin olarak tanımlanması zordur [1-4]. TÜİK kaynaklarına göre, 2016 yılında gemi yapımı ya da bakımı sırasında 2304 kişinin kısa süreli (en az bir gün) ve 61 kişinin de sürekli iş görmez raporu almasına neden olan iş kazası meydana gelmiştir [37]. Ramak kala ve istirahat gerektirmeyen kazaların sağlıklı bir şekilde kayıt altına alınmadığı düşünüldüğünde tersanelerde meydana gelen iş kazası potansiyelini ya da kazanın gerçekleşme ihtimalini öngörmek zordur. Risk değerlendirmesi sırasında üstesinden gelinmesi gereken bir diğer mesele ise olası bir kazanın sonucunun daha doğrusu şiddet boyutunun tahmin edilmesi gerekmektedir. Bazı kazaların sonucunda yaralanmalardan ölüme kadar varan çeşitli sonuçların ortaya çıkması muhtemeldir. Bu sonuçlardan hangisinin daha olası olabileceği yine uzman yargılarına göre değişmektedir. Bu nedenle, ilk kez bu çalışma kapsamında, işletmelerde meydana gelebilecek bir kazanın kök nedenlerini ve olası sonuçlarını analiz eden, olasılık ve şiddet tanımlarında esneklik sağlayan bulanık mantık temelli bir risk analizi yöntemi önerilmektedir. Önerilen yöntem papyon (Bow-Tie), bulanık analitik hiyerarşik süreci (Fuzzy/Bulanık AHP) ve bulanık çıkarım mekanizması (Fuzzy Inference System-FIS) tekniklerini kapsamaktadır.

İş kazaları konusunda yıllardır kronik problemler yaşayan tersaneler, çalışmanın uygulama alanı olarak belirlenmiştir. Önerilen yöntemi örneklendirmek amacıyla genel olarak bir tersanede yaşanan kazaların nedenleri ve olası kazanın sonuçları papyon analiz tekniği ile incelenecektir. Ardından, işletmede gerçekleşecek herhangi bir kazanın olası kök nedenlerinin gerçekleşme potansiyelleri ve kaza gerçekleştiğinde

ortaya çıkacak olası sonuçların analizi Bulanık AHP tekniğiyle yapılacaktır. Olası sonuç analizinde genel olarak benzer kazalar dikkate alınarak değerlendirmeler yapılmaktadır. Son olarak ise kazanın ortaya çıkma potansiyeli ve kaza gerçekleştiğinde ortaya çıkacak olası sonuca bağlı olarak risk değeri FIS kullanılarak hesaplanacaktır.

Çalışmanın devamı şu şekilde organize edilmiştir; İkinci Bölümde konuyla ilgili literatürde yapılmış çalışmalar incelenirken Üçüncü Bölümde önerilen yöntem detaylarıyla sunulmuştur. Önerilen yöntemin tersaneler üzerine yapılan uygulaması Dördüncü Bölümde verilmiştir. Son olarak çalışmadan elde edilen sonuçlar ve öneriler Beşinci Bölümde anlatılmıştır.

## 2. Literatür Araştırması

Literatür incelendiğinde, iş sağlığı ve güvenliği kavramı çerçevesinde yer alan çalışmaların giderek yaygınlaştığı ve özellikle risk değerlendirme sürecinde yöntem esaslı çözüm arayışlarının sürdüğü görülmektedir. Buna rağmen, iş kazaları ve risk değerlendirme süreçleriyle ilgili olarak gemi inşaatı sektörüne dönük olarak literatürde kısıtlı sayıda çalışmanın olduğu görülmektedir. Bu çalışmalar ve ele aldıkları konular şu şekilde özetlenebilir; Çebi ve diğ. [3] çalışmalarında, tersanelerde iş sağlığı ve güvenliği üzerine yapılacak risk analizlerinde, iş sağlığı güvenliği uzmanlarına karar desteği sunmak amacıyla web tabanlı bir karar destek sistemi (WBDSS) geliştirilmiştir. Kurt ve diğ. [5] çalışmalarında, gemi geri dönüşüm tesislerindeki gürültü kaynaklarını incelemiş, gürültü kaynaklarının iş sağlığı ve güvenliği açısından potansiyel etkilerini ölçmüş ve iyileştirme önerileri sunmuştur. Acuner ve Çebi [1] çalışmalarında, olasılık ve şiddet tanımlamaları konusundaki belirsizliklerin üstesinden gelmek amacıyla iş sağlığı ve güvenliği açısından risk değerlendirmesi için bulanık küme teorisine dayanan bir yöntem önermişlerdir.

Çalışmada ayrıca risk şiddeti, literatürden farklı olarak, çalışana, çevreye ve donanıma verilen zararın bir bileşkesi olarak değerlendirilmektedir. Önerilen modelin uygulanabilirliğini göstermek amacıyla, Marmara Bölgesi'nde faaliyet gösteren bir tersanede uygulama yapılmıştır. Schoyen ve diğ. [6] ve Hiremath ve diğ. [7] çalışmalarında, gemi geri dönüşüm tesislerinde gerçekleştirilen işlemlerin niteliğini, iş sağlığı ve güvenliğini ve çevresel etkilerini dikkate alarak geri dönüşümüne ilişkin standart bir planın nasıl hazırlanması gerektiğine ilişkin önerilerde bulunmuştur. Tsoukalas ve Fragiadakakis [8] tersanelerde gerçekleşen iş kazalarının verilerini kullanarak, çalışma koşullarının mesleki yaralanma üzerine etkisini incelemek amacıyla Çok Değişkenli doğrusal regresyon ve genetik algoritma yöntemlerine dayanan bir model geliştirmişlerdir. Garmer ve diğ. [9] çalışmalarında gemi geri dönüşüm süreçlerinde gerçekleşen mesleki risklerin belirlenmesinde ve minimize edilmesinde üç aşamalı bir risk değerlendirme yöntemi önermişlerdir. Özkök [10] tersane çalışmaları esnasında yaralanmalara ve ölümlere neden olan hataları ele almış ve hata türü ve etki analizi (FMEA) tekniğini kullanarak risk derecelerini belirlemiştir. Böylece, gemi üretim sürecinde gerçekleşen en riskli aktiviteleri ve iş istasyonlarını tanımlamıştır. Yun ve Park [11] tersanelerdeki forklift operasyonlarının risklerini ortadan kaldırmak ya da azaltmak amacıyla RFID/USN teknolojisi kullanarak endüstri güvenlik yönetim sistemi geliştirmişlerdir. Mora ve diğ. [2] 2000-2010 yılları arasında yaşanan iş kazası kayıtlarını inceleyerek tersanelerde yaşanan kazaların şiddetini ortaya koymuş ve tersane iş süreçlerine yönelik önlem tedbirleri sunmuştur. Barlas [12] ise, 2000 ile 2010 yılları arasında tersanelerde meydana gelen ölümlü kazalar ele almış ve kazaların kök nedenlerini istatistiksel olarak analiz etmiştir. Barlas [13] yaptığı

bir diğer çalışmada ise, tersanelerde yaşanan ölümcül iş kazalarını AHP tekniğinden faydalanarak analiz etmiş ve sınıflamıştır. Jeong vd. [14] çalışmalarında, Kore'de faaliyet gösteren bir tersanenin 1992-2005 tarihleri arasındaki kayıtlarını ele almış ve üretim ve ofis ortamlarında çalışanların kansere yakalanma risklerini incelemiştir. Jacinto ve Silva [15] papyon analiz tekniğini kullanarak tersanelerdeki mesleki riskleri analiz etmişlerdir. Çelebi ve diğ. [16] tersanelerdeki iş sağlığı ve güvenliği risklerini araştırmak amacıyla İstanbul Tuzla bölgesinde faaliyet gösteren tersane süreçlerini detaylı bir şekilde incelemiştir. Cherniack ve diğ. [17] çalışmalarında, tersanelerde el kol titreşimine maruz kalan çalışanların duyuşal sinir iletim hızlarını inceleyerek çalışanların mesleki risklerini analiz etmiştir. Mattorano ve diğ. [18], tersanelerdeki çalışanların maruz kaldıkları mesleki riskleri değerlendirerek tersanelerde uygulanması gereken iş sağlığı ve güvenliği tedbirlerine ilişkin önerilerde bulunmuşlardır.

Tersanelere yürütülen faaliyetlere yönelik mesleki riskleri konu alan çalışmalar incelendiğinde, literatürde yayımlanan akademik çalışmaların sınırlı sayıda olduğu görülmektedir. Söz konusu çalışmalarda genellikle tersanelerde meydana gelen kazaların analiz edildiği ve bu kazaların nedenlerinin ya da türlerinin irdelendiği görülmektedir. Dolayısıyla yürütülen çalışmaların birçoğunun reaktif çalışma olduğu ve kazayı önlemeye yönelik proaktif çalışmaların sayısının oldukça az olduğu görülmektedir. Literatürde yer alan bazı çalışmaları özetlemek gerekirse, risk değerlendirmelerinin yapıldığı [1, 3, 10, 13], kazalar istatistiksel olarak analiz edildiği [2, 12, 14], kaza kök neden analizlerinin yapıldığı [11, 19, 20] çalışmalarının daha fazla yürütüldüğü görülmektedir. Çalışmalarda kullanılan yöntemler incelendiğinde ise daha çok kaza kayıtlarının

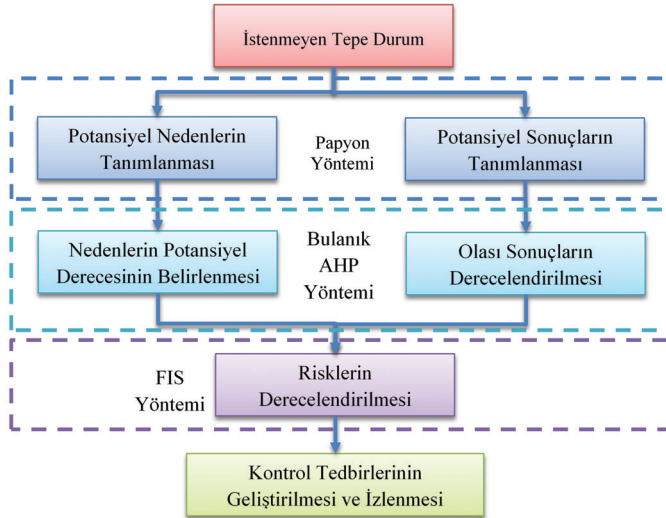
istatistiksel analiz edildiği ya da mevcut durum gözlemlerine dayanan çalışmaların daha fazla olduğu görülmektedir. Son yıllarda yapılan çalışmaların bazılarında ise risk analizlerindeki belirsizliklerin değerlendirilmesi için bulanık küme teoreminden faydalandığı görülmektedir [1, 3, 36]. Bulanık küme teorisi belirsizlik içeren durumların analizi için literatüre önerilmiş ve yaygın olarak kullanılan bir yöntemdir [21]. Ayrıca literatür incelendiğinde, bulanık mantığın kaza analizinde ve farklı alanlardaki risklerin değerlendirilmesinde de başarıyla kullanıldığı çeşitli uygulamaların olduğu görülmektedir [22-28].

Risk değerlendirmesi üzerine literatüre önerilen teknikler incelendiğinde birçoğunun uzman yargılarına dayandığı ve olayın gerçekleşme ihtimali ile olayın sonucunda ortaya çıkan şiddetin büyüklüğünü dikkate alan teknikler olduğu görülmektedir [1]. Oysa, uzman yargılarına bağlı olarak risk derecesini sıklar çarpımla üreten tekniklerde risk derecelerinin dağılımlarının tutarsız bir değişkenlik gösterdiği bilinmektedir [29]. Bu nedenle, uzman yargılarına bağlı olarak risk dereceleri

hesaplanırken bulanık küme teorisinden faydalanmak daha tutarlı sonuçlar üretir. Risk derecelerinin hesaplanmasında literatürde değinilmeyen bir diğer nokta ise birçok kazanın sonucunda ortaya çıkan şiddetin değişkenliğidir. Örneğin, yüksekten düşme nedeniyle yaralanma gibi sonuçlar olabildiği gibi ölümle neticelenen sonuçlar da olabilmektedir. Burada şiddet tamamen uzman algısına ve yargısına göre değişmektedir. Bu nedenle, çalışmamızda risk dereceleri belirlenirken hem bulanık küme teorisinden faydalanan hem de olası kazanın sonucunda ortaya çıkabilecek farklı risk şiddetlerini değerlendirebilecek bir yöntem önerilmektedir.

### 3. Önerilen Yöntem

Çalışma kapsamında kaza analizi ve risk derecelerinin belirlenmesi için Papyon analizi, Bulanık AHP ve FIS yöntemlerini içeren bütünleşik bir model önerilmektedir. Papyon Yöntemi olası bir kazanın kök nedenlerini ve tetikleyeceği sonuçları analiz etmek amacıyla kullanılacaktır. Bulanık AHP yönteminden ise ilgili kazaya neden olabilecek kök nedenlerin kazaya neden olabilirlik derecesini ortaya



Şekil 1. Önerilen Yöntemin Şematik Gösterimi

koymak ve kaza gerçekleştiğinde meydana gelebilecek olası sonuçların ağırlıklarını tanımlamak amacıyla faydalanılacaktır. FIS yöntemi ise kazaya sebebiyet verme potansiyele sahip kök nedenin kazaya sebebiyet verme durumu ve olası sonucuna bağlı olarak ilgili risk için risk derecesinin belirlenmesinde kullanılacaktır. Böylece belirlenen risk derecelerine göre riskler en önemliden önemsizye doğru sıralanarak kontrol tedbirlerinin geliştirilmesi amaçlanmaktadır. Önerilen yöntemin şematik gösterimi Şekil 1’de verilmiştir.

#### Adım 1. İstenmeyen Tepe Durumun Belirlenmesi:

Analizin ilk adımı tehlikeli durumun tespitiyle başlar. Sistemde aynı anda ya da farklı zaman dilimlerinde farklı tehlikeli durumlar söz konusu olabilir. Bu durumda, analizin sistemde yer alan her bir tehlikeli durum için ayrı ayrı yapılması gerekir.

#### Adım 2. Potansiyel Nedenlerin Belirlenmesi:

İlk adımda tanımlanan her bir tehlikeli durum için tehlikenin ne olduğu, nerede ve ne zaman gerçekleşebileceği tanımlanır. Tehlikenin ortaya çıkmasına neden olabilecek kök nedenler “neden”, “nasıl”, “olursa ne olur” soru kalıplarıyla tahmin edilmeye çalışılır. Böylece tehlikeli durumun ortaya çıkmasına neden olabilecek kök nedenler hiyerarşik olarak tanımlanır.

#### Adım 3. Potansiyel Sonuçların Belirlenmesi:

Analizin devamında, tehlikeli olayın gerçekleşmesiyle birlikte ortaya çıkabilecek ardışık olumsuz olaylar tanımlanır. Olumsuzluk zincirini başlatacak ardışık olayların tanımlanmasında “olursa ne olur” sorusu sorularak analiz gerçekleştirilir.

#### Adım 4. Potansiyel Nedenlerin Derecelendirilmesi:

Adım 2’de belirlenen potansiyel nedenler Bulanık AHP yöntemi kullanılarak hangi nedenin daha olası olduğu belirlenir. Bu işlem sırasında kullanılan bulanık AHP yönteminin adımları şu şekildedir [30-32]; İkili karşılaştırmaları

gösteren matris  $C_k$  olsun.

$$\tilde{C}_k = \begin{bmatrix} 1 & \tilde{c}_{12} & \dots & \tilde{c}_{1n} \\ \tilde{c}_{21} & 1 & \dots & \tilde{c}_{2n} \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ \tilde{c}_{n1} & \tilde{c}_{n2} & \dots & \tilde{c}_{nn} \end{bmatrix}, k=1, 2, 3, \dots, K \text{ ve } i=1, 2, 3, \dots, n \quad (1)$$

Burada  $\tilde{C}_k$  k’inci uzmana ait ilgili kök nedenlere ilişkin ikili karşılaştırma matrisidir. Matriste  $\tilde{C}_{ij}$  ile gösterilen değer i’inci kök nedenin j’inci kök nedene oranla tepe olaya neden olma kuvvetinin dilsel ifadesini göstermektedir ve sayısal değeri aşağıdaki eşitlikte verilmektedir.

$$c_{ij} = \begin{cases} i > j, & (1,1,3), (1,3,5), (3,5,7), (5,7,9), (7,9,9) \\ i = j & (1,1,1) \\ i < j, & (1,1,3)^{-1}, (1,3,5)^{-1}, (3,5,7)^{-1}, (5,7,9)^{-1}, (7,9,9)^{-1} \end{cases} \quad (2)$$

Yukarıdaki eşitlikte verilen bulanık sayılara ait dilsel ölçek Tablo 1’de açıklanmıştır [32].

**Tablo 1. İkili Karşılaştırma için Kullanılan Dilsel Ölçek [32]**

Dilsel İfade	Kısaltma	Bulanık Değer
Eşit önemli	(Eq)	(1,1,3)
Zayıf önemli	(Wk)	(1,3,5)
Önemli	(Es)	(3,5,7)
Oldukça Önemli	(Vs)	(5,7,9)
Kesinlikle önemli	(Ab)	(7,9,9)

Bulanık ağırlıklar aşağıda verilen eşitlikler yardımıyla hesaplanır.

$$\tilde{r}_i = (\tilde{c}_{i1} \otimes \tilde{c}_{i2} \otimes \dots \otimes \tilde{c}_{in})^{1/n} \quad (3)$$

$$\tilde{w}_i = \tilde{r}_i \otimes (\tilde{r}_1 + \tilde{r}_2 + \dots + \tilde{r}_n)^{-1} \quad (4)$$

Denklemden  $\tilde{r}_i$  i’nci kök nedenin diğer kök nedenlere kıyasla hesaplanan geometrik ortalama değeri ve  $\tilde{w}_i$  ise i’nci kök nedenden kaynaklı istenmeyen tepe durumun gerçekleşme derecesini göstermektedir. Denklem (3) ve (4), tanımlanan her bir kök neden için tekrarlanır ve ilişki matrisi oluşturulur. Eğer değerlendirme sürecinde

birden fazla uzman varsa ve uzman yargıları konsensüs sağlanarak toplanamıyorsa her bir uzmana ait ikili karşılaştırma matrisleri oluşturulur. Ardından geometrik ortalama alınmak kaydıyla ortak karar karşılaştırma matrisi elde edilir. Ardından 3 ve 4 numaralı denklemler uygulanarak kök nedenlere ait dereceler belirlenir.

**Adım 5. Potansiyel Sonuçların Derecelendirilmesi:** Bir tehlikeli durum gerçekleştiğinde, tehlikeli duruma bağlı olarak farklı sonuçların ortaya çıkması olasıdır. Örneğin yüksekte düşme sonucu uzun süreli iş görmezlik, uzuv kaybı/sakatlık ya da ölüm gibi olumsuz durumlar gerçekleşebilir. Burada gerçekleşecek sonucun şiddet derecesi, çevresel (zeminde yumuşak bir malzemenin bulunup bulunmaması, zeminin toprak ya da beton olması, çevrede delici ya da kesici aletin olup olmaması gibi) faktörlere, çalışanın kilosuna, düşme yüksekliğine ve şans faktörüne bağlı olarak değişmektedir. Göze çapak kaçma gibi bazı kazalarda ise hafif sıyrık ya da kısa süreli iş görmezlik ya da görme yetisinde kalıcı hasar (uzuv kaybı) gibi durumlarla sonuçlanabilir ve burada ölümlerle sonuçlanma ihtimali yoktur. Her iki örnek için analist ilgili kazaları değerlendirirken ilgili sonuçlardan hangisinin daha olası olduğunu o anki koşullarda değerlendirerek belirler. Böylece analist diğer olası sonuçları ihmal ederek bir değerlendirme yapmış olur. Bu adımda ilgili olası sonuçlardan hangisinin daha olası olacağını belirlemek amacıyla olası kazada ortaya çıkacak olası sonuçlar derecelendirilecektir. Derecelendirme işlemi için Adım 4'te verilen Bulanık AHP yöntemine ait eşitlikler kullanılacaktır.

**Adım 6. Risklerin Derecelendirilmesi:** Risklerin derecelendirme işlemi için Bulanık çıkarım sistemi (FIS) ile Adım 4 ve Adım 5'te elde edilen sonuçlar kullanılacaktır. Bulanık çıkarım mekanizması olarak daha basit ve kolay uygulanabilir olması nedeniyle literatürde

daha çok tercih edilen Mamdani [33, 34] çıkarım modeli kullanılacaktır. Model kural tabanlı bir sistemi karakterize eder ve modelde kullanılan kural tabanının genel yapısı aşağıdaki denklemlerde verilmiştir.

$$EĞER x_1 Z_{i1} VE x_2 Z_{i2} VE x_3 Z_{i3} VE \dots x_n Z_{in} İSE y P_i dir. i = 1,2,3,\dots,k \quad (5)$$

Denklemlerde  $x_n$  ( $n=1,2,3,\dots,m$ ) giriş veri setini,  $Z_i$  ve  $P_i$  üyelik fonksiyonlarıyla tanımlı dilsel ifadeyi,  $y$  çıktı değerini ve  $k$  ise kural tabanında yer alan kural sayısını ifade etmektedir. Sistemde mevcut olan birden çok ayrık kuralın aynı anda etkinleşmesi durumunda genellikle MAKS-MİN operatörü kullanılarak sonuç elde edilir. MAKS-MİN operatörü aşağıdaki eşitlikte verilmiştir [28].

$$\mu_{pk}(y) = maks[\min[\mu_{z1k}(x_1), \mu_{z2k}(x_2)]] k = 1,2,3,\dots,n \quad (6)$$

Eşitlikte verilen  $\mu_{pk}$ ,  $\mu_{z1k}$ ,  $\mu_{z2k}$  sırasıyla  $y$  çıkış değerinin,  $x_1$  ve  $x_2$  girdilerinin üyelik dereceleridir.

Modelden bulanık bir değer olarak elde edilen çıktı değerinin durulaştırılması gerekmektedir. Durulaştırma işlemi için çalışma kapsamında, uygulamada yaygın olarak tercih edilen ağırlık merkezi yöntemi (centroid of area veya center of gravity - COA) kullanılacaktır. Yönteme ilişkin eşitlik şu şekildedir [35];

$$Z_{COZ}^* = \frac{\int_z \mu_x(x) x dx}{\int_z \mu_z(x) dx} \quad (7)$$

$$Z_{COZ}^* = \frac{\sum_i^q \mu_z(x_i) x_i}{\sum_i^q \mu_A(x_i)} \quad i = 1,2,3,\dots,q \quad (8)$$

Eşitlikte verilen  $Z_{COZ}^*$  sistemden elde edilen kesin değeri göstermektedir.

**Adım 7. Kontrol Önlemlerinin Belirlenmesi ve İzlenmesi:** Risk derecelerinin belirlenmesinin ardından en riskli olaydan başlanarak kontrol tedbirleri

geliştirilir. Tedbirlerin geliştirilmesinde kök nedenin ortaya çıkmasını önleyici tedbirler tanımlanır. Ayrıca bu adımda, alınan tedbir rağmen olumsuz olayın gerçekleşmesi durumunda ardışık olumsuz olayların ortaya çıkmasını önleyecek ya da etkisini azaltacak tedbirler de planlanır.

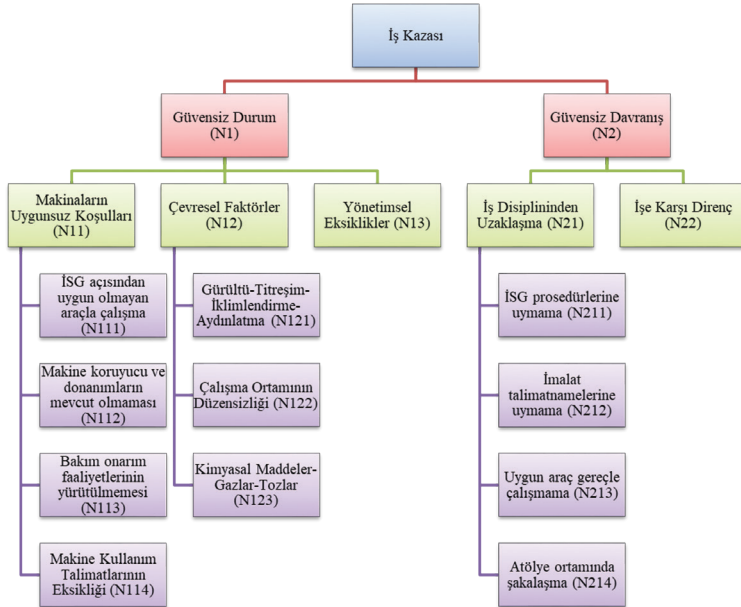
#### 4. Uygulama

Çalışma kapsamında önerilen yöntemin uygulaması bir tersanede gerçekleştirilmiştir. Tersaneler yeni inşa, dönüşüm, havuzlama, bakım-onarım gibi karmaşık üretim süreçlerinin yürütüldüğü işletmelerdir. Tersanelerdeki üretim süreçleri çoğunlukla yüksek teknolojik makinelerden ziyade iş gücüne dayalıdır. İş gücünün yoğun olduğu çalışma ortamlarında gerekli önlemlerin alınmaması durumunda iş kazaları kaçınılmazdır. Bu nedenle çalışma kapsamında, önerilen yöntem yardımıyla, tersanelerde meydana gelen kazaların kök nedenlerinin belirlenmesi ve üretim sürecindeki temel risklerin analiz edilmesi amaçlanmıştır. Uygulama adımları şu şekildedir;

*Adım 1. İstenmeyen tepe durumun belirlenmesi:* Çalışma kapsamında belirlenen istenmeyen tepe durum çalışmamızda yeni gemi inşa sırasında oluşan tersane iş kazası olarak belirlenmiştir.

*Adım 2. Potansiyel nedenlerin belirlenmesi:* Bu adımda, uygulama yapılacak tersanenin iş güvenliği uzmanlarıyla bir araya gelinerek tersanede meydana gelen kazaların kök nedenleri gruplandırılmıştır. Çalışmamızda çeşitli yıllarda uzmanlık derecelerine sahip A ve B sınıfı iş güvenliği belgelerine sahip üç uzmana ait görüşler ve değerlendirmeler toplanmıştır. Verilerin alındığı tersanelerde meydana gelen kazaların genel nedenleri hiyerarşik yapıda Şekil 2’de verilmiştir.

*Adım 3. Potansiyel Sonuçların Belirlenmesi:* Tersanelerde meydana gelen iş kazalarının olası sonuçları iş günü kayıpsız kaza, iş günü kayıplı kaza, uzuv kaybı ve ölüm olarak dört ana gruba ayrılmıştır. Gruplandırma Şekil 3’te verilmiştir ve uygulama yapılan tersane çalışma ortamında gerçekleşebilecek herhangi bir kazanın olası sonuçlarını göstermektedir.



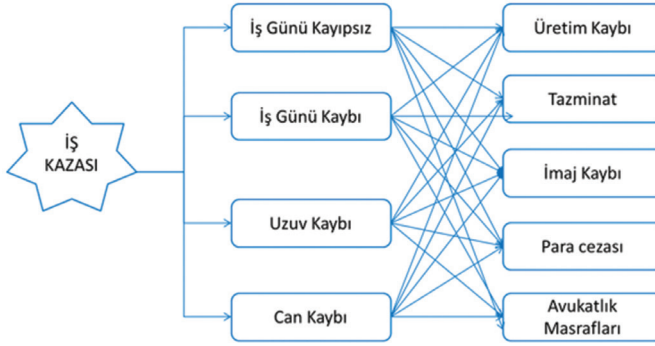
Şekil 2. Yeni Gemi İnşa Sırasında Meydana Gelen İş Kazalarının Potansiyel Nedenleri



Burada karar vericiler olası sonuçları iş günü kayıpsız kaza, kısa süreli iş günü kaybı, uzun süreli iş günü kaybı, uzuv kaybı, ölüm, toplu ölüm gibi de sınıflandırabilir. Buradaki sınıflandırma tamamen işletmenin İSG politikası kapsamında ve işletmeye özgü yapılmaktadır.

*Adım 4. Potansiyel Nedenlerin Derecelendirilmesi:* Bulanık AHP yöntemi kullanılarak ve uygulamanın yapıldığı işletme dikkate alınarak, Adım 2’de belirlenen potansiyel nedenlerden hangisinin ilgili işletme için daha olası olduğu belirlenir. İkili karşılaştırma işlemi için Tablo 1’de verilen dilsel ölçek

kullanılmıştır. Uzmanlardan toplanan değer yargılarının dilsel olmaları nedeniyle ve dilsel verilere matematiksel işlemler uygulanmadığından yine Tablo 1’de verilen üçgensel bulanık sayılar kullanılarak uzman yargıları sayısal değerlere dönüştürülür. Sayısal değerler Ekler Bölümünde Ek Tablo 1’de verilmiştir. Ekte verilen tablolar üç uzmana ait değer yargılarıdır ve ortak yargının elde edilmesi için AHP yönteminde kullanılan geometrik ortalamadan faydalanılır. Geometrik ortalama sonucu elde edilen ortak karar matrisi Tablo 2’de verilmiştir.



**Şekil 3.** Tersanede Meydana Gelebilecek Bir Kazanın Olası Sonuçları

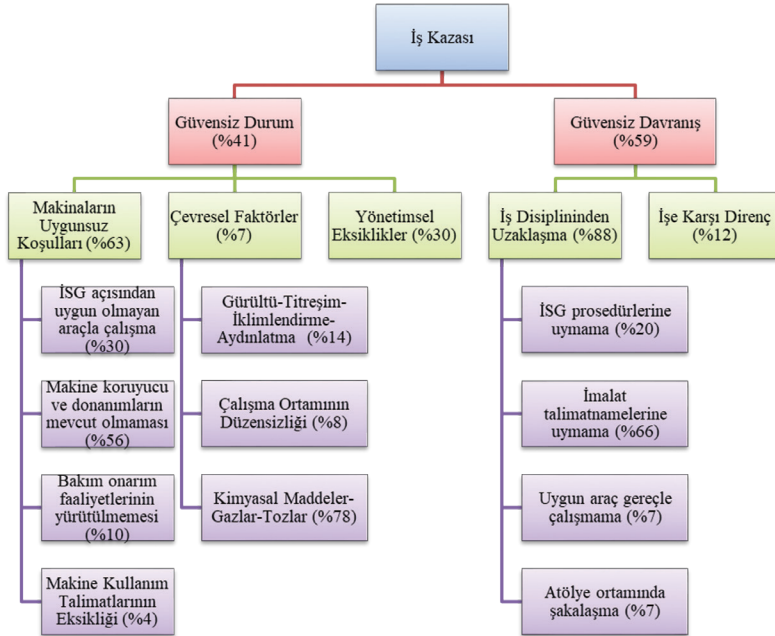
**Tablo 2.** Potansiyel Nedenlere İlişkin Ortak Karar Matrisi

	N1	N2		N211	N212	N213	N214	
N1	(1;1;1)	(0,48;0,52;1,22)		N211	(1;1;1)	(1,41;1,91;2,53)	(0,89;1,12;2,08)	(0,13;0,16;0,25)
N2	(0,82;1,91;2,08)	(1;1;1)		N212	(0,4;0,52;0,71)	(1;1;1)	(1;1,75;2,47)	(0,15;0,19;0,36)
				N213	(0,48;0,89;1,12)	(0,41;0,57;1)	(1;1;1)	(0,13;0,18;0,28)
				N214	(3,98;6,08;7,61)	(2,76;5,13;6,8)	(3,56;5,59;7,61)	(1;1;1)
	N21	N22		N111	N112	N113	N114	
N21	(1;1;1)	(5,59;7,61;9)		N111	(1;1;1)	(0,25;0,31;0,58)	(3,56;5,59;7,61)	(4,22;6,26;8,28)
N22	(0,11;0,13;0,18)	(1;1;1)		N112	(1,71;3,27;3,98)	(1;1;1)	(5;7;9)	(5,59;7,61;9)
				N113	(0,13;0,18;0,28)	(0,11;0,14;0,2)	(1;1;1)	(4,72;6,8;8,28)
				N114	(0,12;0,16;0,24)	(0,11;0,13;0,18)	(0,12;0,15;0,21)	(1;1;1)
	N11	N12	N13		N121	N122	N123	
N11	(1;1;1)	(6,26;8,28;9)	(1,71;2,54;4,33)		N121	(1;1;1)	(1,53;2,14;3)	(0,11;0,13;0,18)
N12	(0,11;0,12;0,16)	(1;1;1)	(0,13;0,18;0,28)		N122	(0,33;0,47;0,65)	(1;1;1)	(0,11;0,12;0,16)
N13	(0,23;0,39;0,58)	(3,56;5,59;7,61)	(1;1;1)		N123	(5,59;7,61;9)	(6,26;8,28;9)	(1;1;1)

Tablo 2'deki verilere Eşitlik 2 ve Eşitlik 3'te verilen formüller uygulanarak gerekli işlemler yapıldığında gerçekleşen kazaların olası nedenlerine ait ağırlıklar elde edilir. Elde edilen ağırlıklar Şekil 4'te verilmektedir. Yapılan analize göre, iş kazalarının %41'i güvensiz durumdan kaynaklanırken %59'u güvensiz davranışlardan kaynaklanmaktadır. Güvensiz durumların %63'ü makinaların uygunsuz koşullarından kaynaklanırken %30'u yönetsel eksikliklerden kaynaklanmaktadır. Makinaların uygunsuz koşullarının %56'sı makine koruyucu ve donanımların olmaması ve % 30'u ise İSG açısından uygun olmayan araçla çalışmadan kaynaklanmaktadır. Çevresel faktörlerden kaynaklanan kazaların büyük bir bölümünü ise kimyasal maddeler, gazlar ve tozlar oluşturmaktadır. Düzensiz davranışlardan kaynaklanan kazaların %88'i iş disiplininden uzaklaşma, %12'si ise işe karşı dirençten kaynaklanmaktadır.

İş disiplininden uzaklaşmadan kaynaklanan kazaların %66'sı imalat talimatnamelerine uymamadan ve %20'si ise İSG prosedürlerine uymamadan kaynaklanmaktadır.

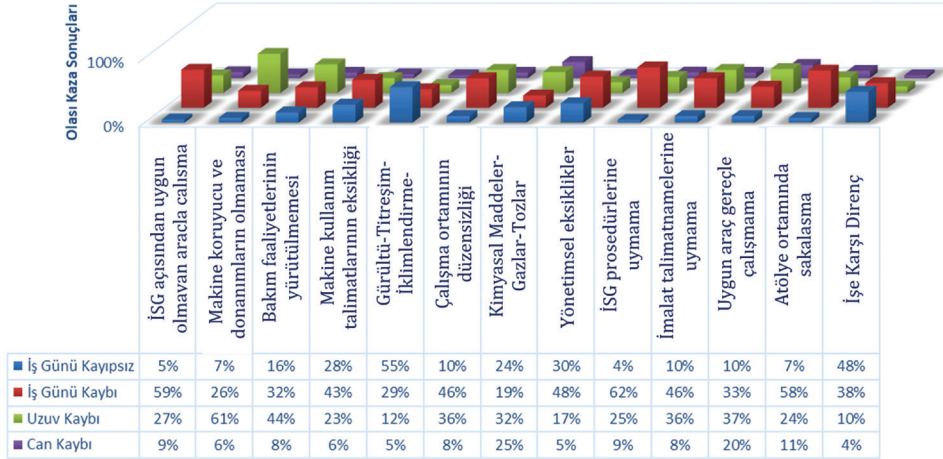
*Adım 5. Potansiyel Sonuçların Derecelendirilmesi:* Bu adımda farklı tehlike kaynaklarına bağlı olarak gerçekleşebilecek olası sonuçlar AHP tekniği kullanılarak değerlendirilmiştir. Uzman yargılarına ait değerlendirme tabloları Ek Tablo 2'de verilmiştir. Ek Tablo 2'deki verilere Eşitlik 2-3 uygulandığında gerçekleşen kazaların olası sonuçlarına ilişkin elde edilen ağırlıklar Şekil 5'te verilmiştir. Olası kaza sonucu can kaybı ağırlığının en fazla yaşandığı durumlar için Kimyasal Maddeler-Gazlar ve Tozlar ve Uygun araç gereçle çalışmama durumlarından kaynaklandığı gözükmektedir. Ancak burada ilgili faktör altındaki ağırlıkların %20-30 aralığında çıkması aslında ilgili durumdan kaynaklanabilecek kazanın



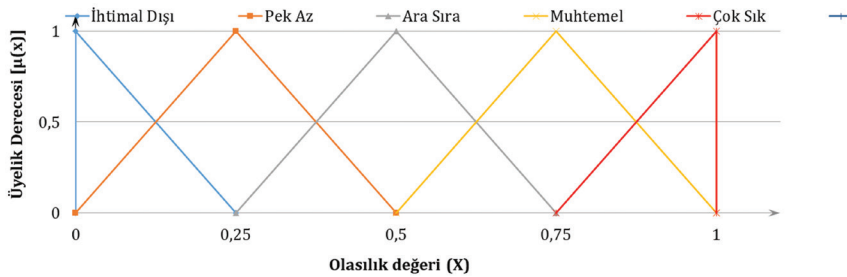
Şekil 4. Tersanelerde Yaşanan İş Kazalarının Nedenlerine İlişkin Ağırlıklar

her türlü muhtemel sonucunun eşit olası olduğunu göstermektedir. “İSG açısından uygun olmayan araçla çalışma”, “Makine kullanım talimatlarının eksikliği”, “Çalışma ortamının düzensizliği”, “Atölye ortamında şakalaşma”, “İSG prosedürlerine uymama”, “İmalat talimatnamelerine uymama” gibi durumlarda meydana gelebilecek kazanın yaygınlıkla iş günü kaybına neden olduğu anlaşılmaktadır. “Makine koruyucu ve donanımların eksik olması ya da donanımın hiç bulunmaması” ve “Bakım faaliyetlerinin yürütülmemesi” durumlarında meydana gelebilecek olası kaza genellikle uzun kayıpla sonuçlanmaktadır.

**Adım 6. Risklerin Derecelendirilmesi:** Bu adımda Mamdani çıkarım mekanizması yöntemi ile her bir nedenden kaynaklı oluşabilecek kaza riski hesaplanacaktır. Adım 4’te elde edilen ağırlıklara karşılık gelen üyelik dereceleri ile kazanın gerçekleşmesiyle meydana gelecek olası sonuçların ağırlıkları kullanılarak ilgili faktöre ait riskin derecesi hesaplanacaktır. Olasılık değerine karşılık gelecek üyelik dereceleri için Şekil 6’da tanımlanan dilsel ifadeler kullanılacaktır. Örneğin N112 için bulanık ağırlık değeri (0,34;0,57;0,89) olup bu değerlere ait bulanık küme Şekil 6 üzerinde çizildiğinde ilgili değerlere ilişkin üyelik dereceleri  $N112 = \{(Pek\ az; 0,33), (Ara$



Şekil 5. Oluşan Kaza Nedenlerine İlişkin Olası Kaza Sonuçları



Şekil 6. Riskin Gerçekleşme Olasılığına Ait Üyelik Fonksiyonları

Sıra;0,58),(Muhtemel;0,69)} şeklinde elde edilir.

Olasılıklara ilişkin üyelik dereceleri elde edildikten sonra ilgili faktöre ait şiddet değerleriyle birlikte risk büyüklüğü hesaplanır. Riske ait büyüklük hesaplanırken Tablo 3'te verilen kural tabanı ve Eşitlik 5-6 kullanılır. Böylece, ilgili faktör için risk derecesine ait üyelik dereceleri hesaplanır. Risk, Tablo 3'te verilen dörtlü dilsel ifadeyle (Kabul edilebilir, Minör, Majör, Felaket) tanımlanır. Risk derecesinin Felaket sınıfında çıkması durumu, işletmede tüm çalışmaların durdurulması ve bir an evvel eylemin planlanması gerektiği durumdur. Majör Risk ise çalışmaya ara verilmeden acil olarak kontrol tedbirlerinin alınmasını gerektirir. Minör Risk grubunda ise risk azaltma maliyetleri riskin ortaya çıkması durumundaki etkilerinden daha düşükse önlemler alınarak risk azaltılır. Aksi durumda ise, yani risk azaltma maliyeti riskin ortaya çıkması durumunda yarattığı

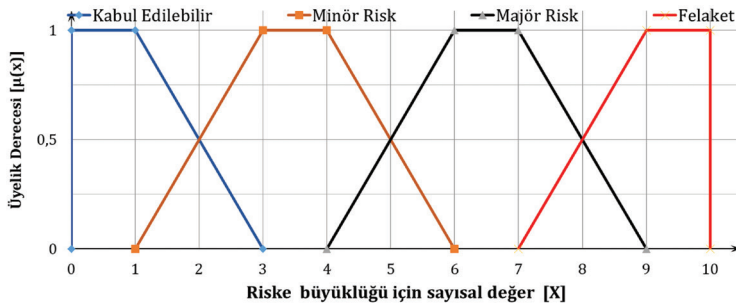
etkiden daha pahalıysa risk izlenmesi ve riskin büyümesi durumunda önlem alınması gereken durumu gösterir. Son olarak ise Kabul Edilebilir Risk, olasılık ve şiddet değerleri dikkate alındığında ihmal edilebilir boyuttaki riski göstermektedir. Risk büyüklüğüne ilişkin kullanılan dilsel veriler ve dilsel verilere karşılık gelen bulanık üyelik fonksiyonları Şekil 7'de verilmiştir [28].

Tablo 4'te elde edilen risk dereceleri Şekil 7'de yerine yazıldığında kazaya neden olan faktörlerin işletme için oluşturduğu riskin sınıfı tanımlanmış olur. Buna göre, N111, N112, N123, N211, N212, N213 ve N214 majör risk kategorisindedir. N113, N114, N121, N122, N13 ve N22 ise minör risk kategorinde yer alan faktörlerdir.

*Adım 7. Kontrol Önlemlerinin Belirlenmesi ve İzlenmesi:* Bu adımda risk azaltma tedbirleri uygulanır ve alınan tedbirlerin geçerliliği izlenir. Yapılan analiz sonucunda atölyede ortaya çıkan

**Tablo 3.** Olasılık Değerleri ile Şiddete Risk Derecesine İlişkin Kural Tabanı

Risk		ŞİDDET			
		İş günü kayıpsız	İş günü kaybı	Uzuv Kaybı	Ölüm
OLASILIK	İhtimal Dışı	Kabul Edilebilir	Minör	Minör	Minör
	Pek Az	Kabul Edilebilir	Minör	Minör	Majör
	Ara sıra	Kabul Edilebilir	Minör	Majör	Felaket
	Muhtemel	Minör	Majör	Felaket	Felaket
	Çok Sık	Minör	Majör	Felaket	Felaket



**Şekil 7.** Risk Büyüklüğüne İlişkin Dilsel İfadeler ve Bulanık Üyelik Fonksiyonları

**Tablo 4.** Tersanelerde Yaşanan Kazalara İlişkin Risk Dereceleri

Yaşanan iş kazalarına ilişkin nedenler	Bulanık Olasılık Değerleri	Olasılık Değerine Ait Üyelik Dereceleri					Risk Büyüklüğüne Ait Üyelik Dereceleri				Risk Derecesi
		İhtimal Dışı	Pek Az	Ara sıra	Muhtemel	Çok Sık	Kabul Edilebilir Risk	Minör Risk	Majör Risk	Felaket	
N111	(0,18;0,29;0,52)	0,21	0,90	0,60			0,05	0,59	0,90	0,60	6,87
N112	(0,34;0,57;0,89)		0,33	0,85	0,69		0,07	0,33	0,61	0,61	7,26
N113	(0,07;0,1;0,17)	0,53	0,64				0,16	0,44	0,08	0,00	3,65
N114	(0,03;0,04;0,07)	0,85	0,22				0,28	0,43	0,06	0,00	3,14
N121	(0,1;0,13;0,2)	0,53	0,62				0,55	0,29	0,05	0,00	2,31
N122	(0,06;0,08;0,11)	0,72	0,39				0,10	0,46	0,08	0,00	3,91
N123	(0,58;0,79;1,04)			0,36	0,93	0,57	0,24	0,32	0,32	0,32	5,80
N13	(0,17;0,3;0,49)	0,20	0,87	0,54			0,30	0,48	0,17	0,05	3,91
N211	(0,12;0,2;0,34)	0,38	0,86	0,23			0,04	0,62	0,23	0,09	5,13
N212	(0,36;0,65;1,17)		0,26	0,76	0,86	0,60	0,10	0,46	0,46	0,36	6,35
N213	(0,05;0,07;0,12)	0,74	0,41				0,10	0,37	0,37	0,37	6,50
N214	(0,04;0,07;0,12)	0,74	0,41				0,07	0,58	0,58	0,24	6,02
N22	(0,1;0,12;0,16)	0,56	0,54				0,48	0,48	0,38	0,10	4,21

en yüksek risk derecesi “Makine koruyucu ve donanımların mevcut olmaması” kök nedeninden kaynaklanmaktadır. İlgili riskin ortadan kaldırılması için makinelerin ilk satın alındığı koşullarda korunması için uygun kullanım ve bakım prosedürlerinin hazırlanması ve prosedüre uyulduğunun sıkı denetlenmesi gerekmektedir. Majör risk boyutundaki bir diğer risk ise “İSG açısından uygun olmayan araçla çalışma” ve “Uygun araç gereçle çalışmama” kök nedenlerinden kaynaklanan risklerdir. Burada hem uygun araçla çalışmadığı hem de kullanılan araçların güvenlik açısından özelliklerini kaybettiği anlaşılmaktadır. Buradaki risklerin ortadan kaldırılması için çalışanlara, operasyon esnasında uygun araç-gereç kullanımı konusunda eğitim verilmeli ve atölye ortamında 5S uygulanmalıdır. 5S yönteminin temel bileşenlerinden olan düzenleme ve sınıflandırma adımlarıyla çalışma ortamı düzenlenmelidir. Böylece çalışanlar ihtiyaç duyacakları araç gereci aradıklarında zaman kaybetmeden bulabilecekler ve çalışmalarını uygun şartlardaki araçlarla sürdürebileceklerdir. Riskin ortaya çıkmasına neden olan en büyük kök nedenlerden bir diğeri de “İmalat

talimatnamelerine uymama” faktöründen kaynaklanmaktadır. Bu faktör çalışanların önemsiz gördüğü bazı adımları bypass yapmasıyla birlikte ortaya çıkan risklerdir. Bu kök nedenin ortadan kaldırılması için yine 5S adımlarından disiplin adımının uygulanmasıyla ortadan kaldırılabilir.

## 5. Sonuçlar

Bu çalışma kapsamında literatüre yeni bir risk değerlendirme yöntemi önerilmiştir. Önerilen yöntem, literatürde bilinen papyon yöntemi, bulanık AHP ve bulanık çıkarım mekanizması yöntemleri kullanılarak geliştirilmiştir. Yöntem, ilk olarak kazaya sebebiyet veren kök nedenlerin tespit edilmesini sağlamak ve ardından tespit edilen kök nedenlerden ortaya çıkabilecek riskleri derecelendirmektedir. Risklerin derecelendirmesi esasında ilk olarak tanımlanan kök nedenlerden hangisinin çalışma ortamında daha yoğun olarak karşılaşıldığı ikili karşılaştırma yöntemiyle belirlenir. Ardından ilgili kök nedenden kaynaklanan riskin şiddetine ilişkin ikili karşılaştırma yapılır. Çalışma ortamında gerçekleşen olumsuz bir durum sonucunda iş günü kayıpsız bir kaza, iş günü kayıplı bir kaza, uzuv kaybı ve ölüm gibi çeşitli

olumsuz sonuçlar ortaya çıkabilir. Bu sonuçlar farklı olasılıklarla da olsa her kaza sonucunda ortaya çıkabilecek durumlardır. Risk analiz uzmanları bu noktada en olası durumu dikkate alarak ve diğer durumları ihmal ederek risk derecesini belirler. Oysa düşük olasılıklı durumların da gerçekleşmesi olasıdır ve risk derecesinin belirlenmesinde dikkate alınması gerekir. Bu nedenle, bu çalışma kapsamında her bir sonucun gerçekleşme ihtimali de dikkate alınarak risk derecesi hesaplanır. Bunun için, önerilen yöntemde hem ilgili kök nedenden dolayı ortaya çıkabilecek riskin olasılığı hem de ilgili risk sonucu ortaya çıkabilecek muhtemel şiddetlerin bulanık çıkarım tekniğiyle değerlendirilmesiyle birlikte risk derecesi elde edilir. Çalışma kapsamında literatüre önerilen yöntem bir tersanede yürütülen faaliyetlerde yaşanan kazaların kök nedenlerine ilişkin risklerin derecelendirilmesinde uygulanmıştır. Önerilen yöntem herhangi bir kök nedenden ortaya çıkabilecek olası tüm sonuçları dikkate aldığı için risk derecesi mevcut yöntemlere nazaran daha duyarlı olarak hesaplanabilmektedir.

Önerilen yöntem, yeni inşa, dönüşüm, havuzlama, bakım-onarım gibi karmaşık üretim süreçlerinin yürütüldüğü ve yüksek teknolojik makinelerden ziyade iş gücüne dayalı çalışmanın yapıldığı bir tersanede uygulanmıştır. Uygulamanın yapıldığı tersanede elde edilen sonuçlara göre felaket derecesinde bir risk bulunmazken majör derecede ortaya çıkan riskler ise şunlardır; *İSG Açısından uygun olmayan araçla çalışma, Makine koruyucu ve donanımın mevcut olmaması, Kimyasal maddeler gazlar tozlar, İSG Prosedürlerine uymama, İmalat talimatnamelerine uymama, Uygun araç gereçle çalışmama, Atölye ortamında sakalaşma.*

Çalışma ortamında yürütülen her bir faaliyet bir sonraki ve bir önceki faaliyetle ilişkilidir. Dolayısıyla risk derecesi belirlenirken faaliyetlerin öncül ve ardıl

durumları da dikkate alınabilir. Daha sonraki çalışmalarda, çalışma ortamında yürütülen faaliyetlerin birbiri üzerine olan etkilerini de dikkate alarak risklerin gerçekleşme olasılıkları belirlenerek risk dereceleri hesaplanabilir.

### Kaynaklar

- [1] Acuner, O., Çebi, S. (2016). An Effective Risk-Preventive Model Proposal for Occupational Accidents at Shipyards, *Brodogradnja/Shipbuilding*, 67(1): 67-84.
- [2] Mora, E., Barbina, P., Bovenzi, M., Larese F. F. (2012). "Work-related injuries in monfalcone shipyard (2000-2010), *Giornale Italiano di Medicina del Lavoro ed Ergonomia*, 34(3): 762-765.
- [3] Çebi, S., Akyuz, E., Sahin, Y. (2017). Developing Web Based Decision Support System For Evaluation Occupational Risks at Shipyards, *Brodogradnja/Shipbuilding*, 68(1): 17-30.
- [4] Çebi, S. ve İlbahar, E. (2017). Tersanelerde Yaşanan Mesleki Risklerin Analizi İçin Bulanık Papyon Model Önerisi, *Yöneylem Araştırması ve Endüstri Mühendisliği Kongresi (YAEM 2017)*, 5-7 Temmuz 2017.
- [5] Kurt R. E., McKenna S. A., Gunbeyaz S.A., Turan O. (2017). Investigation of occupational noise exposure in a ship recycling yard, *Ocean Engineering*, 137(1): 440-449.
- [6] Schøyen, H., Burki, U., Kurian, S. (2017). Ship-owners' stance to environmental and safety conditions in ship recycling. A case study among Norwegian shipping managers, *Case Studies on Transport Policy*, 5(3): 499-508.
- [7] Hiremath, A. M., Pandey, S.K., Asolekar, S.R. (2016). Development of ship-specific recycling plan to improve health safety and environment in ship recycling yards, *Journal of Cleaner Production*, 116: 279-298.

- [8] Tsoukalas V.D., Fragiadakis N.G. (2016). Prediction of occupational risk in the shipbuilding industry using multivariable linear regression and genetic algorithm analysis, *Safety Science*, 83: 12-22.
- [9] Garmer, K., Sjöström, H., Hiremath, A.M., Tilwankar, A.K. Kinigalakis, G., Asolekar, S.R. (2015). Development and validation of three-step risk assessment method for ship recycling sector, *Safety Science*, 76: 175-189.
- [10] Özkök, M. (2014). Risk Assessment in Ship Hull Structure Production Using FMEA", *Journal of Marine Science and Technology*, *Journal of Marine Science and Technology*, DOI: 10.6119/JMST-013-0222-1.
- [11] Yun, J. M. ve Park, P., (2012). Development of Industrial Safety Management System for Shipbuilding Industry using RFID/USN, 9th International Conference on Ubiquitous Intelligence & Computing and 9th International Conference on Autonomic & Trusted Computing (UIC/ATC), September, Fukuoka, JAPAN.
- [12] Barlas, B. (2012). Shipyard Fatalities in Turkey, *Safety Science*, 50(5): 1247-1252.
- [13] Barlas, B. (2012). Occupational Fatalities in Shipyards: an Analysis in Turkey, *Brodogradnja*, 63(1): 35-41.
- [14] Jeong, K.S., Kim, Y., Kim, M.C. ve Yoo, C.I. (2011). Comparison of Cancer Incidence Between Production and Office Workers at a Shipyard in Korea: A Retrospective Cohort Study From 1992 to 2005, *American Journal of Industrial Medicine*, 54(9): 719-725.
- [15] Jacinto, C., Silva, C. (2010). A Semi-Quantitative Assessment of Occupational Risks using Bow-Tie Representation, *Safety Science*, 48(8): 973-979.
- [16] Celebi, U.B., Ekinci, S., Alarcin, F. ve Unsalan, D. (2010). The Risk of Occupational Safety and Health in Shipbuilding Industry in Turkey, *Advances in Maritime and Naval Science and Engineering*, 178-185.
- [17] Cherniack M. Brammer, A.J., Lundstrom, R., Morse, T. F., Neely G., Nilsson, T., Peterson, D., Toppila, E., Warren, N., Diva, U., Croteau, M., Dussetschleger J. (2008). The Effect of Different Warming Methods on Sensory Nerve Conduction Velocity in Shipyard Workers Occupationally Exposed to Hand-Arm Vibration, *International Archives of Occupational and Environmental Health*, 81(8): 1045-1058.
- [18] Mattorano D., Harney J., Cook C., Roegner K. (2001). Metal Exposure During Ship Repair and Shipbreaking Procedures, *Occupational and Environmental Hygiene*, 16(3): 339-349.
- [19] Tamrin, S.B. M., Jamalohdin, M.N., NG, Y.G., Maeda, S., Ali N.A.M. (2012). The Characteristics of Vibrotactile Perception Threshold among Shipyard Workers in a Tropical Environment, *Industrial Health*, 50(2): 156-163.
- [20] Castner, H.R. (1997). Status report on proposed changes to permissible airborne emission exposure limits for U.S. shipyard workers, *Journal of Ship Production*, 13(3): 153-170.
- [21] Zadeh, L. A. (1965). Fuzzy sets, *Information and Control*, 8(1): 338-353.
- [22] Beriha G. S., Patnaik B., Mahapatra S. S., Padhee S. (2012). Assessment of Safety Performance in Indian Industries Using Fuzzy Approach, *Expert Systems with Applications*, 39(3): 3311-3323.

- [23] Tadic D., Djapan, M., Misita M., Stefanovic M., Milanovic D. D. (2012). A Fuzzy Model for Assessing Risk of Occupational Safety in the Processing Industry, *International Journal of Occupational Safety and Ergonomics*, 18(2): 115-126.
- [24] Çebi, S. (2011). Developing a Fuzzy Based Decision Making Model for Risk Analysis in Construction Project, *Journal of Multiple-Valued Logic and Soft Computing*, 17: 387-405
- [25] Pinto A., Nunes I.L. ve Ribeiro R.A. (2011). Occupational Risk Assessment in Construction Industry - Overview and Reflection, *Safety Science*, 49(5): 616-624.
- [26] Bragatto, P. A., Agnello, P., Gnoni, M. G., Lettera, G., Sciancalepore, F.A. (2010). The Impact of the Occupational Safety Control Programs on the Overall Safety Level in an Industrial Cluster, *Reliability, Risk and Safety: Theory and Applications*, 1-3, 745-752.
- [27] Çelik M., Çebi S. (2009). Analytical HFACS for investigating human errors in shipping accidents, *Accident Analysis and Prevention*, 41(1): 66-75.
- [28] Zeng, J., An, M., Smith, N.J. (2007). Application of a Fuzzy Basen Decision Making Methodology to Construction Project Risk Assessment, *International Journal of Project Management*, 25: 589-600.
- [29] Pluess, D.N., Groso, A., Meyer, T. (2013). Expert judgements in risk analysis: A strategy to overcome uncertainties, *Chemical Engineering Transactions*, 31: 307-312
- [30] Buckley, J. J. (1985). Ranking alternatives using fuzzy numbers, *Fuzzy Sets Systems*, 15 (1): 21-31.
- [31] Chen, S., J. ve Hwang, C., L. (1992). *Fuzzy Multi Attribute Decision Making: Methods and Applications*, Lecture Notes in Economics and Mathematical Systems, Springer-Verlag, New York.
- [32] Hsieh, T., Y., Lu, S., T. and Tzeng, G., H. (2004). Fuzzy MCDM Approach for Planning and Design Tenders Selection in Public Office Buildings, *International Journal of Project Management*, 22(7): 573-584.
- [33] Mamdani, E. H. (1977). Application of fuzzy logic to approximate reasoning using linguistic synthesis, *IEEE Transactions on Computers* 26(12): 1182-1191.
- [34] Mamdani, E. H., Assilian, S. (1975). An experiment in linguistic synthesis with a fuzzy logic controller, *International Journal of Man-machine Studies* 7: 1-13.
- [35] Ross, T., J. (2004). *Fuzzy Logic Engineering Applications*, John Wiley & Sons, Ltd, USA.
- [36] İlbahar E., Karaşan A., Çebi S., Kahraman, C. (2018). A novel approach to risk assessment for occupational health and safety using Pythagorean fuzzy AHP & fuzzy inference system, *Safety Science*, 103: 124-136.
- [37] Türkiye İstatistik Kurumu, [www.tuik.gov.tr](http://www.tuik.gov.tr)



**Ek Tablo 1. Potansiyel Nedenlere Ait Dilsel İfadelerin Bulanık Sayı Karşılıkları**

E1	N111	N112	N113	N114		N121	N122	N123	E1	N211	N212	N213	N214		N11	N12	N13	E1	N21	N22	N1	N2	
N111	(1,1,1)	1/(5,7,9)	(3,5,7)	(3,5,7)	N121	(1,1,1)	1/(3,5,7)	1/(5,7,9)	N211	(1,1,1)	1/(5,7,9)	(5,7,9)	1/(3,5,7)	N11	(1,1,1)	(5,7,9)	1/(1,3,5)	N21	(1,1,1)	(7,9,9)	N1	(1,1,1)	1/(5,7,9)
N112		(1,1,1)	(5,7,9)	(5,7,9)	N122		(1,1,1)	1/(5,7,9)	N212		(1,1,1)	(7,9,9)	1/(1,3,5)	N12		(1,1,1)	1/(5,7,9)	N22		(1,1,1)	N2		(1,1,1)
N113			(1,1,1)	(3,5,7)	N123			(3,1,1)	N213			(1,1,1)	1/(3,5,7)	N13			(1,1,1)						
N114				(1,1,1)					N214				(1,1,1)										
E2	N111	N112	N113	N114		N121	N122	N123	E2	N211	N212	N213	N214		N11	N12	N13	E2	N21	N22	N1	N2	
N111	(1,1,1)	(1,1,3)	(5,7,9)	(5,7,9)	N121	(1,1,1)	(5,7,9)	1/(7,9,9)	N211	(1,1,1)	(5,7,9)	1/(3,5,7)	1/(3,5,7)	N11	(1,1,1)	(7,9,9)	(5,7,9)	N21	(1,1,1)	(5,7,9)	N1	(1,1,1)	1/(1,3,3)
N112		(1,1,1)	(5,7,9)	(7,9,9)	N122		(1,1,1)	1/(7,9,9)	N212		(1,1,1)	1/(3,5,7)	1/(3,5,7)	N12		(1,1,1)	1/(3,5,7)	N22		(1,1,1)	N2		(1,1,1)
N113			(1,1,1)	(7,9,9)	N123			(3,1,1)	N213			(1,1,1)	1/(3,5,7)	N13			(1,1,1)						
N114				(1,1,1)					N214				(1,1,1)										
E3	N111	N112	N113	N114		N121	N122	N123	E3	N211	N212	N213	N214		N11	N12	N13	E3	N21	N22	N1	N2	
N111	(1,1,1)	1/(3,5,7)	(3,5,7)	(5,7,9)	N121	(1,1,1)	(5,7,9)	1/(7,9,9)	N211	(1,1,1)	(5,7,9)	(1,1,3)	1/(7,9,9)	N11	(1,1,1)	(7,9,9)	(5,7,9)	N21	(1,1,1)	(5,7,9)	N1	(1,1,1)	1/(1,3,3)
N112		(1,1,1)	(5,7,9)	(5,7,9)	N122		(1,1,1)	1/(7,9,9)	N212		(1,1,1)	(1,3,5)	1/(7,9,9)	N12		(1,1,1)	1/(3,5,7)	N22		(1,1,1)	N2		(1,1,1)
N113			(1,1,1)	(5,7,9)	N123			(3,1,1)	N213			(1,1,1)	1/(5,7,9)	N13			(1,1,1)						
N114				(1,1,1)					N214				(1,1,1)										

**Ek Tablo 2. Potansiyel Sonuçlara Ait Dilsel İfadelerin Bulanık Sayı Karşılıkları**

N111	S1	S2	S3	S4	N211	S1	S2	S3	S4
S1	(1,1:1)	(0,13;0,18;0,28)	(0,12;0,16;0,24)	(0,14;0,2;0,33)	S1	(1,1:1)	(0,12;0,16;0,24)	(0,13;0,18;0,28)	(0,13;0,18;0,28)
S2	(3,56;5,59;7,61)	(1,1:1)	(3,56;5,59;7,61)	(4,22;6,26;8,28)	S2	(4,22;6,26;8,28)	(1,1:1)	(4,22;6,26;8,28)	(5,7:9)
S3	(4,22;6,26;8,28)	(0,13;0,18;0,28)	(1,1:1)	(5,59;7,61;9)	S3	(3,56;5,59;7,61)	(0,12;0,16;0,24)	(1,1:1)	(5,59;7,61;9)
S4	(3,5:7)	(0,12;0,16;0,24)	(0,11;0,13;0,18)	(1,1:1)	S4	(3,56;5,59;7,61)	(0,11;0,14;0,2)	(0,11;0,13;0,18)	(1,1:1)
N112	S1	S2	S3	S4	N212	S1	S2	S3	S4
S1	(1,1:1)	(0,13;0,16;0,25)	(0,13;0,18;0,28)	(0,75;1,44;2,27)	S1	(1,1:1)	(0,25;0,31;0,58)	(0,16;0,24;0,48)	(0,31;0,58;1,19)
S2	(3,98;6,08;7,61)	(1,1:1)	(0,13;0,18;0,28)	(5,7:9)	S2	(1,71;3,27;3,98)	(1,1:1)	(1,53;2,14;3)	(5,7:9)
S3	(3,56;5,59;7,61)	(3,56;5,59;7,61)	(1,1:1)	(5,59;7,61;9)	S3	(2,08;4,22;6,26)	(0,33;0,47;0,65)	(1,1:1)	(6,26;8,28;9)
S4	(0,44;0,69;1,33)	(0,11;0,14;0,2)	(0,11;0,13;0,18)	(1,1:1)	S4	(0,84;1,71;3,27)	(0,11;0,14;0,2)	(0,11;0,12;0,16)	(1,1:1)
N113	S1	S2	S3	S4	N213	S1	S2	S3	S4
S1	(1,1:1)	(0,36;0,52;0,78)	(0,25;0,44;0,69)	(0,52;1,22;2,03)	S1	(1,1:1)	(0,27;0,34;0,69)	(0,16;0,24;0,48)	(0,16;0,24;0,48)
S2	(1,29;1,91;2,76)	(1,1:1)	(0,47;0,65;1)	(4,22;6,26;8,28)	S2	(1,44;2,92;3,66)	(1,1:1)	(1,19;1,71;2,33)	(1,19;1,71;2,33)
S3	(1,44;2,27;3,98)	(1,1;53;2,14)	(1,1:1)	(5,59;7,61;9)	S3	(2,08;4,22;6,26)	(0,43;0,58;0,84)	(1,1:1)	(2,92;3,66;6,24)
S4	(0,49;0,82;1,91)	(0,12;0,16;0,24)	(0,11;0,13;0,18)	(1,1:1)	S4	(2,08;4,22;6,26)	(0,43;0,58;0,84)	(0,16;0,27;0,34)	(1,1:1)
N114	S1	S2	S3	S4	N214	S1	S2	S3	S4
S1	(1,1:1)	(0,27;0,49;0,82)	(0,89;1,61;2,47)	(1,71;3,98;6,08)	S1	(1,1:1)	(0,25;0,31;0,58)	(0,15;0,21;0,41)	(0,15;0,21;0,41)
S2	(1,22;2,03;3,66)	(1,1:1)	(1,53;2,14;3)	(5,7:9)	S2	(1,71;3,27;3,98)	(1,1:1)	(3,98;6,08;7,61)	(5,59;7,61;9)
S3	(0,41;0,62;1,12)	(0,33;0,47;0,65)	(1,1:1)	(4,72;6,8;8,28)	S3	(2,47;4,72;6,8)	(0,13;0,16;0,25)	(1,1:1)	(3,27;3,98;6,24)
S4	(0,16;0,25;0,58)	(0,11;0,14;0,2)	(0,12;0,15;0,21)	(1,1:1)	S4	(2,47;4,72;6,8)	(0,11;0,13;0,18)	(0,16;0,25;0,31)	(1,1:1)
N121	S1	S2	S3	S4	N13	S1	S2	S3	S4
S1	(1,1:1)	(2,47;4,72;6,8)	(2,76;5,13;6,8)	(2,76;5,13;6,8)	S1	(1,1:1)	(0,41;0,69;1,44)	(0,84;1,71;3,27)	(1,71;3,98;6,08)
S2	(0,15;0,21;0,41)	(1,1:1)	(4,22;6,26;8,28)	(5,7:9)	S2	(0,69;1,44;2,47)	(1,1:1)	(4,72;6,8;8,28)	(5,59;7,61;9)
S3	(0,15;0,19;0,36)	(0,12;0,16;0,24)	(1,1:1)	(5,7:9)	S3	(0,31;0,58;1,19)	(0,12;0,15;0,21)	(1,1:1)	(5,59;7,61;9)
S4	(0,15;0,19;0,36)	(0,11;0,14;0,2)	(0,11;0,14;0,2)	(1,1:1)	S4	(0,16;0,25;0,58)	(0,11;0,13;0,18)	(0,11;0,13;0,18)	(1,1:1)
N122	S1	S2	S3	S4	N22	S1	S2	S3	S4
S1	(1,1:1)	(0,25;0,31;0,58)	(0,16;0,24;0,48)	(0,31;0,58;1,19)	S1	(1,1:1)	(1,09;1,71;2,54)	(4,22;6,26;8,28)	(4,22;6,26;8,28)
S2	(1,71;3,27;3,98)	(1,1:1)	(1,53;2,14;3)	(5,7:9)	S2	(0,39;0,58;0,92)	(1,1:1)	(5,7:9)	(5,7:9)
S3	(2,08;4,22;6,26)	(0,33;0,47;0,65)	(1,1:1)	(6,26;8,28;9)	S3	(0,12;0,16;0,24)	(0,11;0,14;0,2)	(1,1:1)	(2,92;5,28;7,4)
S4	(0,84;1,71;3,27)	(0,11;0,14;0,2)	(0,11;0,12;0,16)	(1,1:1)	S4	(0,12;0,16;0,24)	(0,11;0,14;0,2)	(0,14;0,19;0,34)	(1,1:1)
N123	S1	S2	S3	S4					
S1	(1,1:1)	(5,7:9)	(0,16;0,25;0,58)	(0,16;0,25;0,58)					
S2	(0,11;0,14;0,2)	(1,1:1)	(1,44;2,27;3,98)	(1,44;2,27;3,98)					
S3	(1,71;3,98;6,08)	(0,25;0,44;0,69)	(1,1:1)	(1,19;2,76;3,56)					
S4	(1,71;3,98;6,08)	(0,25;0,44;0,69)	(0,28;0,36;0,84)	(1,1:1)					