

Risk Analizi: Türkiye’de Gerçekleşen Trafik Kazaları Üzerine Hata Ağacı Analizi Uygulaması

Risk Analysis: Fault Tree Analysis Application on Traffic Accidents Occured in Turkey

Öğr. Grv. Dr. Bilgin Şenel - Öğr. Grv. Dr. Mine Şenel

Öz

Trafik kazaları, gelişmiş ve gelişmekte olan ülkelerde, tüm nüfusu etkileyen önemli risk olarak ortaya çıkmaktadır. Ulaşımında kara yollarının yaygın olarak kullanılması ve otomotiv sektöründeki gelişmeler sonucu yaygınlaşan motorlu taşıt kullanımı, kaza riskini daha da artırmaktadır. Bu çalışmada, TÜİK (Türkiye İstatistik Kurumu)’den elde edilen 2001-2007 yılları arasındaki kaza istatistikleri kullanılarak trafikte risk faktörleri ve bu risk faktörlerinin risk derecelerinin belirlenmesi amaçlanmıştır. Bu amaçla hata ağacı analizi metodolojisi kullanılarak, belirlenen risk faktörleri ve birbirleri ile etkileşim dereceleri üzerinden ana olay olarak belirlenen trafik kazasının her bir hata türü için oluşma olasılığı ortaya konulmuştur. Çalışma sonucunda TÜİK trafik kazaları verilerine göre belirlenen üç hata türü etki derecesi sıralaması çevresel hata, kişisel hatalar ve araç hataları şeklindedir. Genel sonuç olarak Türkiye’de trafik kazaları riski her üç hata türü hesaba katıldığında %57,34 olarak belirlenmiştir.

Anahtar Kelimeler: Hata Ağacı Analizi, Trafik Kazaları, Risk Analizi, Olasılık

Abstract

Traffic accidents is emerging as a significant risk that affects entire population in both developed and developing countries. Increasing use of motor vehicles, as a result of widespread use of highways for transportation and the developments in automotive sector is enhan-

cing the risk of accidents. In this study, it is aimed to find risk factors in traffic accident and risk degree of these risk factors using traffic accident statistics between the years 2001-2007 obtained from TÜİK (Turkish Statistical Institute). For this purpose, using the fault tree analysis methodology, for each fault the probability of occurrence of traffic accident as the main event, for each fault is revealed by risk factors and their interaction degrees. The result of this research shows that the order of degrees of 3-type-faults which were determined by TUIK traffic accident data, as follows: environmental faults, personal faults and vehicle-origin-faults. As a general result the risk for traffic accidents in Turkey, when each of 3 fault types are taken into consideration, has been calculated as 57,34%.

Keywords: Fault Tree Analysis, Traffic Accidents, Risk Analysis, Probability

Giriş

Trafik kazaları, gelişmiş ve gelişmekte olan ülkelerde, tüm nüfusu etkileyen önemli bir risk olarak ortaya çıkmaktadır. Ulaşımında kara yollarının yaygın olarak kullanılması ve otomotiv sektöründeki gelişmeler sonucu yaygınlaşan motorlu taşıt kullanımı, kaza riskini daha da artırmaktadır. Türkiye’de kayıtlı taşıt sayısının 1990 yılında 3.750.678 iken, 2010 yılında ise 15.095.603 olması, motorlu taşıt kullanımındaki artışı açıkça gözler önüne sermektedir. Bu duruma bağlı olarak trafik kazalarına karışan taşıt sayısının,

1990 yılında 115.295 iken 2010 yılında 1 106 201 olduğu görülmektedir. Kaza sayısındaki artış oranı ise son dört yılda ortalama %25 civarında görülmektedir.

Kazaya karışan araç oranında ise 2001 yılı haricinde devamlı bir artış görülmektedir (TÜİK, Trafik Kaza İstatistikleri (Karayolu), 2010).

Tablo 1. Motorlu Taşıt, Nüfus, Sürücü Belgesi ve Trafik Kazası (Ölümlü, Yaralanmalı)

Yıl	Toplam Taşıt	Yıl Ortası Tahmini Nüfus (000)	Kaza	Kazanın Toplam Taşıta Oranı	Ölü sayısı	Ölü sayısının Toplam Nüfusa Oranı	Yaralı Sayısı	Yaralı Sayısının Toplam Nüfusa Oranı (%)
1990	3.750.678	56.154	115.295	31	6.317	0,11	87.668	1,56
1991	4.101.975	57.272	142.145	35	6.231	0,11	90.520	1,58
1992	4.584.717	58.392	171.741	37	6.214	0,11	94.820	1,62
1993	5.250.622	59.513	208.823	40	6.457	0,11	104.330	1,75
1994	5.606.712	60.637	233.803	42	5.942	0,10	104.717	1,73
1995	5.922.859	61.763	279.663	47	6.004	0,10	114.319	1,85
1996	6.305.707	62.909	344.643	55	5.428	0,09	104.599	1,66
1997	6.863.462	64.064	387.533	56	5.125	0,08	106.246	1,66
1998	7.371.541	65.215	458.661	62	6.083	0,09	125.793	1,93
1999	7.758.511	66.350	465.915	60	5.713	0,09	125.158	1,89
2000	8.320.449	67.420	500.664	60	5.510	0,08	136.751	2,03
2001	8.521.956	68.365	442.960	52	4.386	0,06	116.203	1,70
2002	8.655.170	69.302	439.777	51	4.093	0,06	116.412	1,68
2003	8.903.843	70.231	455.637	51	3.946	0,06	118.214	1,68
2004	10.236.357	71.152	537.352	52	4.427	0,06	136.437	1,92
2005	11.145.826	72.065	620.789	56	4.505	0,06	154.086	2,14
2006	12.227.393	72.974	728.755	60	4.633	0,06	169.080	2,32
2007	13.022.945	70.586	825.561	63	5.007	0,07	189.057	2,68
2008	13.765.395	71.517	950.120	69	4.236	0,06	184.468	2,58
2009	14.316.700	72.561	1.053.346	74	4.324	0,06	201.380	2,78
2010	15.095.603	73.723	1.106.201	73	4.045	0,05	211.496	2,87

Artışa bakarak, karayollarında ortaya çıkan trafik kazalarını gelecekte de insanoğlunun diğer yaralanma ve ölüm nedenlerine göre çok daha büyük bir risk faktörü olacağından, birçok araştırmacı bu konu üzerinde çalışmalar yapmaktadır. Bu çalışmalardan birinde, kazalara bağlı yaralanmalar takibinde ortaya çıkan ölümlerde, trafik kazalarına bağlı ölüm oranının, ge-

lişmiş ve otomatize olmuş ülkelerde, gelişmekte olan ülkelere göre daha yüksek olduğu görülmüştür. (Graham 1993; Sođderlund and Zwi, 1995; Mohan, 1998; Roberts, 1998). Gelişmekte olan ülkelerde, bu oran daha düşük olmasına rağmen, bu ülkelerde erkek nüfus için ortaya çıkan en yaygın ölüm sebebinin AIDS

ve tüberkülozdan sonra trafik kazaları olduğu söylenmektedir (Goldsmith and Cwikel, 1993).

Avrupa Birliği Ülkelerindeki trafik kazalarında gerçekleşen ölümler incelendiğinde, 1991'den 2006 yılına

kadar geçen sürede ilk sırada Lüksemburg'da %49'luk, Fransa ve Portekiz %42'lik, Malta'da %38'lik ciddi bir düşüşün olduğu görülmüştür (Tablo 2).

Tablo 2. Avrupa Birliği Ülkelerinde Meydana Gelen Trafik Kazalarında Ölü Sayısı

	1991	1992	1993	1994	1995	1996	1997	1998	1999	2000	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2001-2006
Belçika	1.873	1.671	1.660	1.692	1.449	1.356	1.364	1.500	1.397	1.470	1.486	1.306	1.214	1.162	1.089	1.034	-30%
Çek.Cum	1.331	1.571	1.524	1.637	1.588	1.562	1.597	1.360	1.455	1.486	1.334	1.431	1.447	1.382	1.286	1.063	-20%
Almanya	11.300	10.631	9.949	9.814	9.454	8.758	8.549	7.792	7.772	7.503	6.977	6.842	6.613	5.842	5.361	5.094	-27%
İspanya	8.837	7.818	6.375	5.612	5.749	5.482	5.604	5.956	5.738	5.777	5.517	5.347	5.400	4.749	4.442	3.699	-33%
Fransa	10.483	9.902	9.865	9.019	8.892	8.540	8.445	8.920	8.486	8.079	8.162	7.655	6.058	5.530	5.318	4.703	-42%
İrlanda	445	415	431	404	437	453	473	458	414	418	412	376	337	374	399	368	-11%
İtalya	8.109	8.053	7.187	7.091	7.020	6.676	6.714	6.313	6.688	6.649	6.691	6.739	6.065	5.692	5.426	5.426	-19%
Litvanya	1.173	836	958	765	672	667	752	829	748	641	706	697	709	751	760	759	8%
Lüksemburg	83	69	78	65	70	71	60	57	58	76	70	62	53	49	46	36	-49%
Polonya	7.901	6.946	6.341	6.744	6.900	6.359	7.310	7.080	6.730	6.294	5.534	5.827	5.640	5.712	5.444	5.243	-5%
Portekiz	3.217	3.086	2.701	2.505	2.711	2.730	2.521	2.126	2.028	1.877	1.670	5.1655	1.542	1.294	1.247	969	-42%
Slovenya	462	493	493	505	415	389	357	309	334	313	278	269	242	274	258	256	-8%
Finlandiya	632	601	484	480	441	404	438	400	431	396	433	415	379	375	379	344	-20%
Malta	16	11	14	6	14	19	18	17	4	15	16	16	16	13	17	10	-38%
İngiltere	4.753	4.379	3.957	3.807	3.765	3.740	3.743	3.581	3.564	3.580	3.598	3.581	3.658	3.336	3.336	3.355	-7%
Slovakya	614	677	584	633	660	616	788	819	647	628	614	610	645	603	560	520	-15%

Kaynak: Road accident statistics in Europe (Care and National Data)

http://ec.europa.eu/sverige/documents/traffic_press_stats.pdf

Türkiye’de gerçekleşen kazalarda ölümler incelendiğinde 2001 den 2006 yılına kadar %25’lik bir düşüş olduğu anlaşılmıştır. Bu düşüşün diğer Avrupa ülkeleri ile karşılaştırılmasında, İngiltere, Slovenya, Finlandiya, Çek Cumhuriyeti, Polonya, İrlanda ve İtalya’yı geride bırakmıştır.

Yapılan literatür araştırmasında, Konu üzerinde yapılan çalışmalarda görülmüştür ki, ele alınan risk faktörleri, demografik; sistemin insan faktörü ve bu faktörün davranışlarının sisteme etkisi ve fiziksel faktörler; sistemin yol ve araç bileşenleri üzerine olmak üzere iki ana grupta toplanmıştır.

İleri yaşlarda, bayan ve erkek sürücülerde ortaya çıkan risk faktörleri incelenmiş, ileri yaştaki erkek sürücülerin kazaya karışma risklerini etkileyen risk faktörlerinin, bayan sürücülere göre daha fazla sayıda olduğu belirlenmiştir. İleri yaşlarda bayan sürücülerde, yalnız yaşayan ve sırt ağrısı şikayeti olan, ileri yaşta erkek sürücülerde ise çalışan, kelime testlerinde düşük sonuçlar veren, glaucoma geçmişi bulunan veya anti-depresan kullanan sürücülerin risk gruplarını oluşturduğu ortaya çıkmıştır (Patricia S. Hu, David A. Trumble, Daniel J. Foley, John W. Eberhard, Robert B. Wallace, 1998, 569-581). Daha sonraları yapılan yine cinsiyet faktörüne göre sürüş sırasında öfke durumu incelendiğinde, cinsiyet ile sürüş stresi arasında anlamlı bir ilişki olduğu görülmüştür (Heather S. Lonczak, Clayton Neighbors, Dennis M. Donovan, 2007, 536-545). Daha sonraları İsviçre’de yine cinsiyet gibi diğer demografik özelliklerden olan sürücülerin gelir durumlarına göre yapılan bir çalışmada, düşük maaşa sahip sürücülerin kaza riskinin nispeten daha yüksek olduğu görülmüştür. (Adrian Spoerria, Matthias Eggera, Erikvon Elma, 2010).

Sürücü psikolojisinin, kararlarını ve davranışlarını etkilediği varsayımı ile yola çıkılan bir başka çalışmada ise tamamen sürücülerin davranışları ve demografik özellikleri üzerine yoğunlaşarak, bu faktörlerin, riskli sürüşe yöneltme durumunu değerlendirilmiştir (Birgitta Falk, Henry Montgomery, 2007, 414-427).

Otoyollarda meydana gelen kazaların araç, sürücü ve çevre ile ilişkili olan risk faktörlerini belirlenmesi için yapılan bir çalışmada, araç büyüklüğünün bir risk faktörü olarak görülemeyeceği, buna karşılık, erkek, sık aralıklarla yolculuk yapan, araç sahibi ve 25 yaş altı sürücülerin risk grubunda olduğu sonucuna varılırken, (Martha Hı’jar , Carlos Carrillo, Mario Flores, Rafael Anaya, Victoria Lopez, 2000, 703-709) yine

başka bir çalışmada, sıfır risk teorisinde belirtilen ekstra güdüler kavramını genellikle iş seyahati yapan sürücüler üzerinde test etmiş, bitkinlik, sürüş sırasında işi düşünme ve cep telefonu kullanımı risk grubunu oluşturan faktörler olarak ortaya çıkmıştır (Simo Salminen, Erkki Lahdeniemi, 2002, 77-86).Yine benzer olarak, risk algılayışları üzerinde bir araştırmada, sürücülerin bir olayın oluşma riskinin %1’ den küçük olması halinde, bu ihtimali göz önüne almayarak, bu konuda dikkatli davranmadıkları, ancak bu durumun sonuçlarının oldukça ağır olduğu görülmüştür (Arienne T. de Blaeij, Daniel J. van Vuuren, 2003, 167-175).

Yapılan bu çalışmada ise, Türkiye’ de 2007 yılına kadar elde edilen kaza istatistikleri temel alınarak, trafikte risk grupları ve bu risk gruplarının risk derecelerinin belirlenmesi amaçlanmaktadır. Bu amaçla trafik alanında uygulanabilir olduğu bilinen ve bir çok kez çeşitli çalışmada uygulanmış olan, hata ağacı analizi metodolojisi kullanılarak, belirlenen risk faktörleri ve birbirleri ile etkileşim dereceleri üzerinden ana olay olarak belirlenen trafik kazasının her bir bölüm için oluşma olasılığı ortaya konacaktır.

Risk Analizi

Bulunulan durumda hasar veya zarara neden olabilecek potansiyel bir kaynağın varlığı, riski doğurur. Ancak hasarın varlığı, riskli bir durumla karşı karşıya kalındığını tanımlamak için yeterli değildir. Bu noktada hasarın potansiyel hasardan gerçek hasara dönüştüğü bir belirsizlik vardır. Bu nedenle risk, meydana gelme ihtimali bulunan her çeşit kayıp veya zarar ile bu ihtimalin gerçek bir kayıp veya zarara dönüşme belirsizliğinin bir birleşimidir. Kısaca açıklamak gerekirse risk, kayıp veya zarar oluşma ihtimali ile bu zararın derecesidir.

Risk = Hasar + Belirsizlik (Benner, 1978)

Bu konuda başka bir gösterim de sonuç ve meydana gelme olasılıklarını içeren aşağıdaki formüldür;

$$\text{Risk} = \text{Şiddet} \times \text{Olasılık} \quad R = xp$$

Formülde de görüldüğü gibi x (sonuç) ve p (meydana gelme olasılığı) değerlerinin ortaya koyduğu risk derecesi, çok farklı koşullar için aynı değeri taşıyabilmektedir. Risk dereceleri aynı olsa da; riski azaltmak için izlenecek yollar farklıdır. Birinci durumda, olay meydana geldiğinde oluşacak durumlar göz önüne

alınarak daha az hasara neden olacak sistemler düşünülmelidir. İkinci durum için ise temelde olayın oluşumuna yol açan nedenler belirlenmeli ve etkin bir şekilde ortadan kaldırılmaya çalışılmalıdır.

Bunun konu ile bağlantılı en basit örneği, deniz taşımacılığı ile kara taşımacılığında alınan tedbirler arasındaki farklılıklardır. Bilindiği gibi deniz taşımacılığının kaza riski, kara taşımacılığına göre oldukça düşüktür. Buna karşın deniz taşıtlarının kara taşıtlarına oranla oldukça geniş olan kapasiteleri, birinci durumda olduğu gibi, etkinin azaltılmasını sağlayacak, can yeleği, filika vb. tedbirlerin alınmasını gerekli kılmaktadır. Aksine kara taşımacılığında, ikinci durumda görüldüğü gibi, olayın ortaya çıkma sebepleri üzerine yoğunlaşarak, oluşumunu engelleyecek nitelikte, trafik işaret ve levhaları, aşırı hız uyarı ekranları, araçtaki çeşitli donanımlar vb. önlemler alınmaktadır. Sonuç olarak aynı riski taşıyan her oluşum, aynı stratejinin uygulanmasını gerektirmemektedir.

Risk analizinde, cevaplanması gereken üç temel soru bulunmaktadır:

İstenmeyen olaylarda, hangi etkiler, tehlikeyi hasara çevirmektedir?

Her bir etkinin oluşma olasılığı nedir?

Her bir etkinin ortaya çıkaracağı muhtemel zarar miktarı nedir?

$$R = \{s, p, x\}$$

Bu gösterimde, R (risk), s (sequence) etki, p (probability) meydana gelme olasılığı ve x (consequence) sonuç olarak geçmektedir (Enrico Zio, Singapore: World Scientific, 2007).

Trafik kazası, karayolu üzerinde hareket halinde olan bir veya birden fazla aracın karıştığı ölüm, yaralanma ve zararlı sonuçlanmış olan olaydır (TÜİK, Trafik Kaza İstatistikleri (Karayolu), 2007). Trafik, bileşenleri yol, sürücü ve araç olan bir sistem olarak göz önüne alınabilir. Bileşenler, etkileşimli olarak yapılan seyahatin risk durumunu belirler. Sürücünün yol boyunca herhangi bir kazaya karışmaması, istenen durum olarak söylenebilir. İstenmeyen durum ise, kaza oluşumdur.

Kaza oluşumunun ihtimalini ve risk derecesini belirlemek için risk analizi teknikleri kullanılabilir. Bunlardan bazıları;

- *Sapma Analizi (Deviation Analysis)*
- *Olay Ağacı Analizi (Event Tree Analysis)*
- *Hata Ağacı Analizi (Fault Tree Analysis)*
- *Yönetim Bakışı ve Risk Ağacı (MORT) (Management Oversight and Risk Tree)*
- *Güvenlik Fonksiyon Analizleri (Safety Function Analysis)*
- *Kaza Evrimi ve Bariyer Fonksiyonu (Accident Evolution and Barrier Function)*
- *Değişim Analizi (Change Analysis)*
- *Çoklu Olaylar Sıralaması (Multilinear Events Sequencing)*
- *STEP*

Hata Ağaç Analizi

Bir sistemde oluşan durum/ hataların, tek başlarına sistemin normal durumuna kıyasla analiz edilmesi, doğru ve yeterli bir yöntem değildir. Sistem sınırları içerisinde oluşan her türlü durum, bir başka olay/ durumun tetiklemesi sonucu ortaya çıkan birer sonuçtur. Trafik kazaları risk analizinde kullanılmak üzere, hata ağaç analizinin (Fault Tree Analysis) bir uygulaması olarak olay ağaç analizi (Incident Tree Analysis) metodunun ortaya konulduğu çalışma, risk analizinde kullanılan birçok yöntemin trafik alanında da uygulanabilir olduğunu göstermektedir (Wuhong Wang, Xiaobei Jiang, Shuangchen Xia, Qi Cao, 2010, 1248-1262). Kaza analizi sürecinde kazanın gerçek sebebi olarak görülen tali etkenlerden ve içeriksel detaylardan ayırmaktadır. Bir çalışmada tek başına bir sebebin kazanın meydana gelmesinde yeterli olduğu bulunmuştur (Mackie, 1993). Başka bir çalışmada asli etkenlerin gerçek anlamda sistem güvenliğini zayıflattığını ve kazaya sebep olduğu, ancak tali etkenlerin ise global anlamda kendi başlarına kazaların meydana gelmesinde yeterli olmadığı ortaya konulmuştur (Peterson, 2000).

Trafik kavramını da bileşenleri çevre, araç ve sürücü olan bir sistem olarak ele alabiliriz. Bu durumda, bu bileşenler üzerinde bir tersliğe neden olan durum ve olayları, yine bu bileşenlerle bağlantılı olarak teker teker ele almak gerekir. Trafik, kimyasal ve nükleer süreçler içeren tesisler, üretim, hizmet vb. sistemlerde üzerinde çalışılan hataların, birbirlerine bağlantılı olarak ele alınması, bu bağlantıların mantıksal ilişkiler ile değerlendirilmesi ve mantıksal sistemi temsil edecek bir yapı oluşturulması mühendislik bakış açısına uygun sayılabilecek bir problem çözüm tekniğidir.

Bu açıdan hata ağacı analizi, verilen bir istenmeyen olaya neden olan ilişkilerin kurulmasını sağlayan sistematik bir tekniktir (Enrico Zio, Singapore: World Scientific, 2007). Kaza analizleri genellikle bir akış diyagramı üzerinde kazanın temsil edilmesi sonucuna ulaşılır (Benner, 1994; Johnson, 1994; Zotov, 1996; Ladkin, 1999). Bir hata ağacı analizinin oluşturulabilmesi için, sistemin çok iyi analiz edilmiş olması gerekir. Bu amaçla, bir sistem akış şeması oluşturulur ve sistem bileşenleri arasındaki bağlantılar ile bu bağlantıların türleri belirlenir. Hata ağacı metodolojisi, sistem hatalarını ve sistem ve sistem bileşenlerinin hatalarındaki özgül sakıncalı olaylar arasındaki bağlantıyı gösteren mantıksal diyagramlardır. Bir sistem üzerinde, hata ağacı analizinin uygulanarak risk analizi yapılması, hem oldukça ayrıntılı bir analiz yeteneği hem de ayrıntılı çıktılar ortaya koyacaktır. Metodolojinin Görsellik özelliği, kolay öğrenilebilir, uygulanabilir ve takip edilebilir bir yöntem oluşu, karmaşık sistemleri belirgin ilişkiler içerisinde açıklaması, bir olasılık modeli oluşu, uygulama için yazılımların oldukça yaygın oluşu, tutarlılığı kanıtlanmış bir metodoloji olması bu yöntemin tercihini gerekli kılmaktadır (Ericson C., 1999). Hata Ağacı Analizi 3 temel adımda uygulanır, ilk adımda Sistemin analizi yapılır, ikinci adım ise, hata ağacının oluşturulmasıdır ve son olarak üçüncü adımda hata ağacının değerlendirilmesi adımlarıdır. Hata ağacı analizinde bilinmesi gereken bazı temel tanımlar vardır ve bunlar ise aşağıdaki gibidir:

Üst olay: Analizde risk derecesi araştırılan ana istenmeyen olaydır, *Esas olay:* Daha ileri bir ayırıştırma gerekmeden üst olayı tetikleyen olaydır, *Ve kapısı:* Sembol altında gösterilen tüm olayların gerçekleşmesi ile bir üst olayın gerçekleşeceğini gösterir mantık bağlantısıdır, *Veya kapısı:* Sembol altındaki olayların herhangi birinin gerçekleşmesi ile bir üst olayın gerçekleşeceğini gösterir mantık bağlantısıdır, *Kesme seti:* Hepsi olduğu takdirde, üst olayın meydana gelmesine neden olan herhangi bir hata ağacı grubudur, *En düşük kesme seti:* Hepsi olduğu takdirde, üst olayın meydana gelmesine neden olan asgari hata ağacı grubudur, *Yol Seti:* Meydana gelmediği takdirde zirve olay garanti olarak meydana gelmeyeceğinin görüldüğü hata ağacını başlatan bir gruptur.

Tepe olayın oluşma olasılığının alt olayların olasılıkları üzerinden hesaplanması için farklı bazı yaklaşımlar bulunmaktadır:



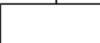
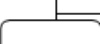



Hata ağaçlarında, olaylar ve mantıksal kapılar temel kavramlardır. Hata Ağacı analizinde bir ya ... ya da yaklaşımı benimsenmiştir. Bir olay ya oluşuyordur

ya da oluşmuyordur. Daha sonra olay ifadesi “doğru” veya “yanlış” olarak belirtilebilir. Bu aynı zamanda ikili mantığın ve yanlış veya doğru şeklinde değer alan cebirin uygulanabileceği anlamına gelen mantıksal değerler “1” ve “0” şeklinde de ifade edilebilir. Bu hem güçlülük hem de zayıflıktır. Karmaşık sistemlerdeki hataların basit tarzda şekilde tanımlanabilmesi yaklaşımın avantajıdır. Gerçek hayatta oluşacak düzeyin çok sayıda farklılıklarının analiz tarafından hesaba katılmaması bir zayıflıktır.

Bir hata ağacı tasarlarırken, bir grup sembol kullanılmıştır. Grup bir miktar değişken içerir, ve burada sadece sınırlı sayıda sembol ele alınmıştır. Hata ağacındaki semboller iki türdür, kapılar ve olaylar. En önemlileri Şekil 1’de gösterilmiştir. İlk üç sembol kimi türdeki “olaylar” ile ilgilidir. “Olaylar” kaba anlamdaki olaylar olabilir, örn. bir şey olur, fakat aynı zamanda hatalı bir durum ile ilgilidir, örneğin bir parçanın arızalanması nedeniyle oluşan. Bu nedenle, onların “hata olayları” olarak tanımlanması daha doğru olabilir. Koşullara bağlı sembol normal şartların veya olayların aynı zamanda sistemi etkileyebileceğini göstermek için kullanılmıştır. Bazen, ENGELLEME olarak adlandırılan özel kapı ile birlikte kullanılır. Transfer sembolü ağacı birkaç küçük parçaya bölmek için kullanılır. VE ve VEYA kapıları çeşitli olaylar arasında mantıksal bağlantılar sağlamak için kullanılır.

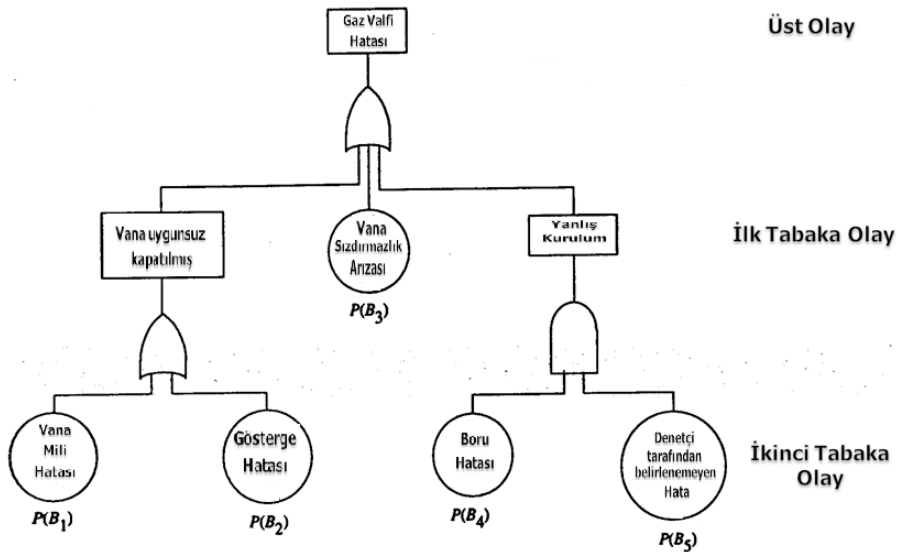
Son adım, temel olayların her biri için hata olasılıklarını tayin edilecektir. Bu hesaplamaların ardından Boolean Mantık operatör kullanılarak üst olayın olasılıkları hesaplanacaktır. Bunun için Hata ağacındaki temel olaylar yapılacak olan hesaplamaların anlaşılması için numaralandırılacaktır. Bu yapılacak hesaplamaların daha iyi anlaşılması için bir örnek vermek gerekirse, Gaz vanası için hata ağacı ve analizi bu hesaplama güzel bir örnek olacaktır.

Bu örnekte ilk aşama, en üst düzey olay belirlenir; “Gaz valfi kapanınca akışı önlemede hatalı”. Örneğin, tutacak, uygun olmayacak bir şekilde valfin kapalı pozisyonda olduğunu göstermektedir; veya valf, gerçekte valf tutacağına gösterdiği gibi kapalı konumundadır. Mamafih iç conta hatalı olabilir ve bu durum gazın sürekli akışına neden olur veya valf gaz aktarım aracına uygun bir şekilde bağlanmamış olabilir. Burada kullanılan “veya” sözcüğüne dikkat etmek gerekir. Bu sözcük doğal olarak hata ağacı geliştirmede “ve ya” kapısının kullanımını belirtir. Kısacası, bu örnek üç koşulun en üst düzey olayına yönlendirdiği varsayılar. Şekil 1 daha önce HAA diyagramının iki tabakası olarak listelenen üst düzey olay ve üç koşulunu gösterir.

Sembol	İşaret edilen	İşlev
	Temel olay	Temel olay veya hata
	Gelişmemiş olay	Gelişmemiş durum.
	Olay	Daha temel olaylardan oluşan olay
	Durumsal olay	Normal şekilde oluşabilecek olay
	VE kapısı	C çıktı olayı eğer bütün girdi olayları (A ve B) aynı anda oluşuyorsa oluşur.
	VEYA kapısı	C çıktı olayı eğer herhangi bir girdi olayı oluşursa meydana gelir.
	Transfer sembolü	Ağacın başka bir yerde daha ilerleri noktaya geliştiğini gösterir.

Kaynak: Lars Harms Ringdahl, "Safety Analysis Principles and Practice in Occupational Safety", Second Edition, Taylor and Francis, London Newyork 2001

Şekil 1. Hat Ağacı Analizinde Kullanılan Semboller



Şekil 2. Hata ağacı

Hata ağacına göre üst olayın hesaplanması aşağıdaki Boolean Mantık operatörüne göre yapılır.

$$P(\text{Üst Olay}) = (B_1 \cup B_2) \cup B_3 \cup (B_4 \cap B_5)$$

$$P(B_1 \cup B_2) = (B_1 + B_2) - (B_1 \cdot B_2)$$

$$P(B_3 \cap B_4) = (B_3 \cdot B_4)$$

$$P((B_1 \cup B_2) \cup B_3) = (((B_1 + B_2) - (B_1 \cdot B_2)) + B_3) - ((B_1 + B_2) - (B_1 \cdot B_2)) \cdot (B_3)$$

$$P(\text{Üst Olay}) = (((B_1 + B_2) - (B_1 \cdot B_2)) + B_3) - ((B_1 + B_2) - (B_1 \cdot B_2)) \cdot (B_3 \cdot B_4) - (((B_1 + B_2) - (B_1 \cdot B_2)) + B_3) \cdot (B_3)$$

$$(B_1 \cdot B_2) + B_3) - ((B_1 + B_2) - (B_1 \cdot B_2)) + (B_3) + (B_3 \cdot B_4)$$

ile olasılık değerleri ile Üst Olay bu işlem düzenine göre hesaplanır.

Analizler ve Bulgular

Yapılacak çalışmada, Türkiye’de 2007 yılına kadar elde edilen kaza istatistikleri temel alınarak, trafikte risk grupları ve bu risk gruplarının risk derecelerinin belirlenmesi amaçlanmaktadır. Bu amaçla hata ağacı analizi metodolojisi kullanılarak, belirlenen risk faktörleri ve birbirleri ile etkileşim dereceleri üzerinden ana olay olarak belirlenen trafik kazasının her bir bölüm için oluşma olasılığı ortaya konacaktır. Araç kaynaklı etmenlere ait risk faktörleri;

TÜİK’in yapmış olduğu bu sınıflandırmada da model yılı faktöründe, 1978 - 2008 arası modellere sahip araçların verileri bulunmaktadır. 2004 ve sonrası modellere ait kaza sayısının ani bir artışa geçtiği görülmektedir (TÜİK, Trafik Kaza İstatistikleri (Karayolu), 2007). Bu nedenle analizde değerlendirilecek olan sınıflar, 2004 yılı ve sonrasına ait modellerdir.

Tablo 3. Araç kaynaklı Etmenlere Ait Trafik Kazası Risk Faktörleri

Risk		
Faktörleri	Alt Faktörler	Oluşma Sıklığı
Model Yılı (X31)	2004	22,65
	2005	25,07
	2006	29,79
	2007	22,49
Araç Türü (X32)	Motosiklet	3,09
	Otomobil	61,2
	Minibüs	5,74
	Kamyonet	19,7
	Kamyon	5,94
	Otobüs	4,42

Tablo 3’de diğer tablolarda uygulanan oran karşılaştırması yapıldığında, kaza oranları ile toplam oranlar arasındaki farklılıklar görülmüştür. Örneğin, araç türü olarak otomobil sınıfına ait kaza oranı % 60,69 iken, otomobil sayısı toplam kayıtlı motorlu taşıtla-

rın % 13,1’ini oluşturmaktadır. Bu durum, otomobil sahibi sürücülerin, risk oranlarının oldukça yüksek olduğunu göstermektedir. Çalışmada kullanılacak olan sürücü kaynaklı etmenlere ait risk faktörleri aşağıdaki gibidir:

Tablo 4. Sürücü Kaynaklı Etmenlere Ait Trafik Kazaları Risk Faktörleri

Risk Faktörleri	Oluşma		Risk Faktörleri	Oluşma	
	Alt Faktörler	Sıklığı		Alt Faktörler	Sıklığı
Yaş	15-17	2,78	Eğitim	İlkokul	39,17
	18-20	4,93		Ortaokul	12,38
	21-24	10,51		İlköğretim	9,23
	25-64	79,46		Lise	24,58
	65+	2,32		Üniversite	14,64
Cinsiyet	Erkek	95,58	Alkol durumu	%0.50	18,34
	Kadın	4,42		%0.51- 0.90	10,82
Emniyet Kemeri	Takılı	96,86		%0.91 - 1.50	11,34
	Takılı değil	3,14		%1.51 - 2.00	11,05
Sürücü Belgesi	A1	0,12	Sürücü Belgesinin Alındığı Yer	%2.00+	22,27
	A2	13,86		Alkolsüz	26,18
	B	58,6		Emniyet	32,78
	E	27,42		Sürücü Kursu	67,22

Faktörlerin içerdiği sınıflamalar genellikle olduğu gibi alınmıştır. Yalnızca sürücü belgesi faktöründe yaygın kullanım ve kaza sayısının yoğunlaştığı sınıflar olması nedeniyle A1, A2, B ve E sınıfları dikkate alınmış; ek olarak alkol durumu faktörü de alkol alınmasının net bir şekilde tam olarak elde edilemediği düşüncesiyle hata ağacında elmas şeklinde gelişmemiş olay olarak gösterilecektir.

Tablo 4'de sürücü kaynaklı etmenlere ait faktör oranlarını gösteren tabloda görüldüğü gibi, oranlar arasındaki en belirgin farklılıkların, sürücülerin, yaş, cinsiyet, alkol durumu ve sürücü belgesinin nereden alındığı (emniyet veya sürücü kursu) sınıflarında oluştuğu görülmektedir. Tablo 4'de belirtilen kaza oranlarının hesaplanmasında, söz konusu sınıfa ait

kaza sayısı ile toplam kaza sayısının oranı kullanılmıştır. Örnek vermek gerekirse, 15-17 yaş arası kazaya karışan sürücü sayısı, 3.720, toplam kaza sayısı ise 133.778' dir. Buradan yola çıkılarak, 15-17 yaş arası sürücülerin, toplam kaza sayısının % 2.78' ini oluşturduğu görülmektedir.

Diğer yandan, kadın ve erkek sürücü oranlarına bakıldığında, bu tip bir oranlamanın yeterli olmayacağı, oranlamanın kaza yapan kadın/ erkek sürücü sayısı ile toplam kayıtlı kadın/ erkek sürücü sayıları ile yapılması gerektiği söylenebilir. Bu orana bakıldığında ise, kayıtlı kadın sürücü sayısının 3.072.489 iken, kayıtlı erkek sürücü sayısının 15 804 865 olduğu görülmektedir. Çevre kaynaklı etmenlere ait risk faktörleri ise şu şekildedir:

Tablo 5. Çevre Kaynaklı Etmenlere Ait Trafik Kazaları Risk Faktörleri

Risk Faktörleri	Alt Faktörler	Oluşma		Risk Faktörleri	Alt Faktörler	Oluşma
		Sıklığı	Sıklığı			
Yol kaplama cinsi	Beton	1,37		Aydınlatma	Var	52,22
	Asfalt	94,14			Yok	47,72
	Parke	3,51			Bozuk	0,06
	Stabilize	0,76		Yol çalışması	Var	0,82
	Ham	0,22			Yok	99,18
Hava durumu	Açık	76,55	Geometrik özellikler	Düşey güzergah		22,65
				/hafif eğim		
				Yatay güzergah/hafif viraj		11,72
	Bulutlu	13,59		Kavşak (dört yönlü)		15,16
				Kavşak (dönel)		23,12
	Yağmurlu	8,4		Düz Virajsız Yol		27,35
		0,83				
	Karlı					
	Sisli	0,57			Gündüz	72,86
	Tipili	0,03				
Fırtınalı	0,03		Gün Durumu	Gece	27,14	

Benzer şekilde, çevre kaynaklı etmenlere ait faktör oranlarını gösteren Tablo 4' e bakıldığında ise, en belirgin farklılıkların yol kaplama cinsi ve hava durumu sınıflarında olduğu görülmektedir. Yol yüzeyi ve hava durumu faktörleri, oluşturulan hata ağacında araç temas yüzeyi faktörünü oluşturduğundan, hata ağacının analizinde özellikle araç temas yüzeyi ve yol kaplama cinsi faktörlerinin değişimlerinin risk derecesi üzerindeki etkisi dikkate alınacaktır.

Çevre kaynaklı etmenlere ait faktörlerde, yol kaplama cinsi için yine toplam oranlar ile kaza oranları arasında farklılık olduğu görülmektedir. Öyle ki, örneğin asfalt yol için bu yoldaki kaza sayısının toplam kaza sayısına oranı %94,14 iken, asfalt yollar toplam yol uzunluğunun % 19' unu oluşturmaktadır. Son olarak, Tablo 3' da araç kaynaklı etmenlere ait faktör oranları gösterilmektedir. Model yıllarına ait oranlar arasında belirgin bir değişim olmamasının yanında, araç tür-

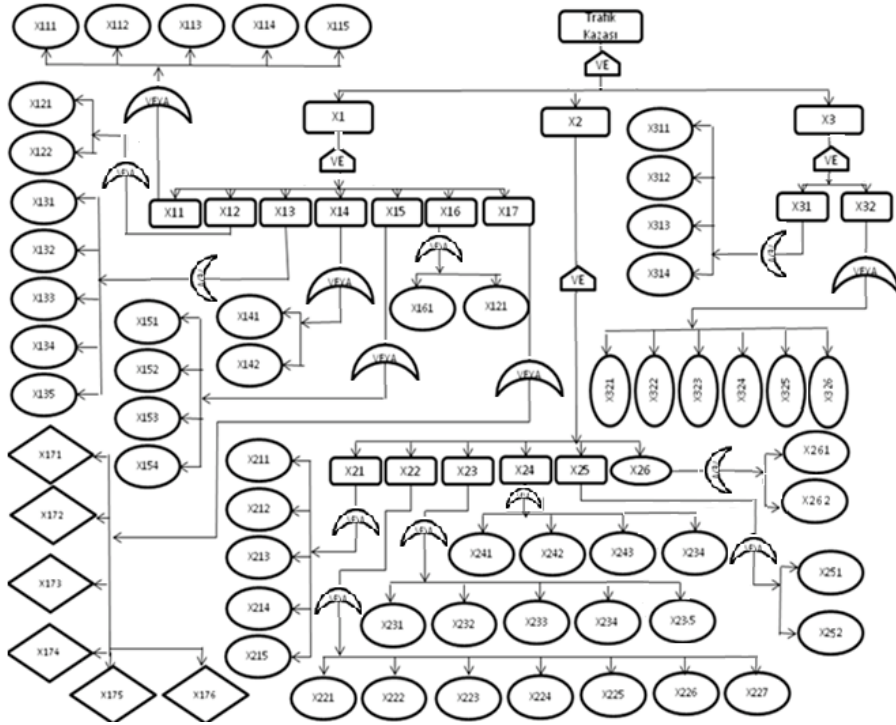
lerine ait oranlardaki değişim görülebilmektedir. Bu nedenle hata ağacının analizinde, araç kaynaklı etmenlere ait faktörler için analizin ana maddesi araç türü faktöründeki değişimler olacaktır.

Tablo 3. de da diğer tablolarda uygulanan oran karşılaştırması yapıldığında, kaza oranları ile toplam oranlar arasındaki farklılıklar görülmüştür. Örneğin, araç türü olarak otomobil sınıfına ait kaza oranı % 60,69 iken, otomobil sayısı toplam kayıtlı motorlu taşıtların % 13,1' ini oluşturmaktadır.

Uygulamada, her bir risk faktörüne ait seçenekler, yukarıda belirtilen önemli faktörlerin kombinasyonları şeklinde seçilerek, her bir durumun risk oranı değerlendirilecektir. Bu risk oranının bulunabilmesi için ilk olarak hata ağacı oluşturulacak ve bu ağaca uygun kodlamalar yapılacaktır.

Tuik'in trafik kaza istatistiklerinde dikkate alınan risk faktörleri ele alınarak, hata ağacı oluşturulmuştur. Hata ağacının inşası tepe olay ile başlar. İlk basamak tepe olayın birden çok bağımsız yolla oluşup oluşmayacağına göz önüne alınmıştır. Böylece Kişisel, Çevresel ve Araca bağlı olmak üzere 3 birbirinden bağımsız

yolla oluşacağı görülmüştür. Böylece kurulan sisteme uygun olarak bağımsız yollar VE, VEYA kapısı ile bölümlendirilmiştir. Oluşturulan Hata Ağacında aşağı yönde hareket edilerek ve daha fazla temel neden aranmış ve buna uygun olarak bulunmuştur (Şekil3).



Şekil 3. Trafik Kazaları Hata Ağacı

Yukarıda oluşturulan hata ağacında üst olaya bağlı olarak üç ilk tabaka hatalar ile "VE" ile bağlanmıştır. Bunun nedeni ise trafik kazalarının nedenleri her üç hatanın aynı anda oluşabileceği düşünüldüğünden dolayı "VE" kullanılmıştır. İkinci tabaka hatalar ise ilk tabaka hatalara ayrı ayrı "VE" ile bağlanmıştır. Bunun nedeni ise, her birinin aynı anda gerçekleşebileceğinden dolayıdır. Üçüncü tabaka hatalar ayrı

ayrı ikinci tabaka hatalara "VEYA" ile bağlanmıştır. "VEYA" ile bağlanmasının sebebi ise, üçüncü tabaka hataların en az birinin oluşabileceği düşüncesidir.

Oluşturulan Hata Ağacında her bağımsız yol ve bunlarla ilgili diğer alt bağımsız yollar kodlanmıştır. Bu kodlar ile trafik kazalarına neden olabilecek nedenler daha rahat anlaşılacaktır. Aşağıda verilen Tablo 6 de Hata Ağacında kullanılan her durum için verilmiştir.

Tablo 6. Hata Ağacı Kodları

Sürücü	X1	Çevre	X2	Araç	X3
Yaş	X11	Yol kaplama cinsi	X21	Model yılı	X31
15-17	X111	Beton	X211	2004	X311
18-20	X112	Asfalt	X212	2005	X312
21-24	X113	Parke	X213	2006	X313
25-64	X114	Stabilize	X214	2007	X314
65+	X115	Ham	X215	Araç Türü	X32
Cinsiyet	X12	Hava Durumu	X22	Motosiklet	X321
Erkek	X121	Açık	X221	Otomobil	X322
Kadın	X122	Bulutlu	X222	Minibüs	X323
Eğitim Durumu	X13	Yağmurlu	X223	Kamyonet	X324
İlkokul	X131	Karlı	X224	Kamyon	X325
Orta okul	X132	Sisli	X225	Otobüs	X326
İlk öğretim	X133	Tipili	X226		
Lise	X134	Fırtınalı	X227		
Üniversite	X135	Geometrik Özellikler	X23		
Emniyet Kemerini	X14	Düşey güzergah /hafif eğim	X231		
Takılı	X141	Yatay güzergah/hafif viraj	X232		
Takılı Değil	X142	Kavşak (dört yönlü)	X233		
Sürücü Belgesi	X15	Kavşak (dönel)	X234		
A1	X151	Düz Virajsız Yol	X235		
A2	X152	Aydınlatma	X24		
B	X153	Var	X241		
E	X154	Yok	X242		
Sürücü Belgesinin Nereden	X16	Bozuk	X243		
Alındığı		Yol Çalışması	X25		
Emniyet	X161	Var	X251		
Sürücü Kursu	X162	Yok	X252		
Alkol Durumu(Promil)	X17	Gün Durumu	X26		
Alkolsüz	X171	Gündüz	X261		
0.50	X172	Gece	X262		
0.51-0.90	X173				
0.91-1.50	X174				
1.51-2.00	X175				
2.01	X176				

Kod atamaları ve buna uygun hata ağacı çıkarıldıktan sonra, diğer adımda üst olaya uygun hesaplanmalara Boolean Mantık operatör ile geçilmiştir. Hata ağacında kullanılan “ve”, “veya” durumlarına göre uygun “ve” için “∩”, “veya” için “∪” kullanılmıştır. P(Üst Olay)’ı hata ağacına uygun olarak olasılık değerine

ulaşabilmek için denklem olarak aşağıda oluşturulmuştur.

Kişisel Faktör (X1) ve yedi ikinci tabaka faktörleri için Boolean Mantık operatörü kullanılarak yapılan hesaplamalar EK de verilirken, sonuçları aşağıda Tablo 7’de verilmiştir.

$$P(\text{ÜST OLAY}) = X1 \cap X2 \cap X3$$

$P(\text{ÜST OLAY})$

$$= [(X111 \cup X112 \cup X113 \cup X114 \cup X115) \cup (X121 \cup X122)] \cap (X131 \cup X132 \cup X133 \cup X134 \cup X135) \\ \cap (X141 \cup X142) \cap (X151 \cup X152 \cup X153 \cup X154) \cap (X161 \cup X162) \cap (X171 \cup X172 \cup X173 \\ \cup X174 \cup X175 \cup X176 \cup X177) \cap [(X211 \cup X212 \cup X213 \cup X214 \cup X215) \cap (X221 \cup X222 \cup X223 \\ \cup X224 \cup X225 \cup X226 \cup X227) \cap (X231 \cup X232 \cup X234 \cup X235) \cap (X241 \cup X242 \cup X243 \cup X244) \\ \cap (X251 \cup X252) \cap (X261 \cup X262)] \cap [(X311 \cup X312 \cup X313 \cup X314) \cap (X321 \cup X322 \cup X323 \\ \cup X324 \cup X325 \cup X326)]$$

Tablo 7. Kişisel Faktör (X1) ve Yedi Alt Faktör İçin Olasılık Değerleri

Faktörler	Boolean Mantık operatörü	Olasılık Değeri
X11	$P(X111 \cup X112 \cup X113 \cup X114 \cup X115)$	0,9999
X12	$P(X121 \cup X122)$	0,958
X13	$P(X131 \cup X132 \cup X133 \cup X134 \cup X135)$	0,9998
X14	$P(X141 \cup X142)$	0,9696
X15	$P(X151 \cup X152 \cup X153 \cup X154 \cup X155)$	0,9999
X16	$P(X161 \cup X162)$	0,7797
X17	$P(X171 \cup X172 \cup X173 \cup X174 \cup X175 \cup X176 \cup X177)$	0,9999
X1	$P(X11 \cap X12 \cap X13 \cap X14 \cap X15 \cap X16 \cap X17)$	0,7239

Çevre Faktörü (X2) ve altı ikinci tabaka faktörleri için Boolean Mantık operatörü kullanılarak yapılan hesaplamalar EK de verilirken, sonuçları aşağıda Tablo 8'de verilmiştir.

Araçla ilgili Faktör (X2) ve iki adet ikinci tabaka faktörleri için Boolean Mantık operatörü kullanılarak yapılan hesaplamalar EK de verilirken, sonuçları aşağıda Tablo 9'de verilmiştir.

Tablo 8. Çevre Faktörü (X2) ve Altı Alt Faktör İçin Olasılık Değerleri

Faktörler	Boolean Mantık operatörü	Olasılık Değeri
X21	$P (X211 \cup X212 \cup X213 \cup X214 \cup X215)$	0,9999
X22	$P (X221 \cup X222 \cup X223 \cup X224 \cup X225 \cup X226 \cup X227)$	1
X23	$P (X231 \cup X232 \cup X233 \cup X234 \cup X235)$	0,9997
X24	$P (X241 \cup X242 \cup X243)$	0,9998
X25	$P (X251 \cup X252)$	0,9918
X26	$P (X261 \cup X262)$	0,80225
X2	$P (X21 \cap X22 \cap X23 \cap X24 \cap X25 \cap X26 \cap X27)$	0,795194

Tablo 9. Araç İlgili Faktör (X3) ve İki Alt Faktör İçin Olasılık Değerleri

Faktörler	Boolean Mantık operatörü	Olasılık Değeri
X31	$P (X311 \cup X312 \cup X313)$	0,9962
X32	$P (X321 \cup X322 \cup X323 \cup X324 \cup X325 \cup X326)$	0,9999
X3	$P (X31 \cap X32)$	0,5734

Üst olay Trafik kazalarının oluşmasında üç adet ilk tabaka hatalarının etkisinin olasılık değerinin ne olduğu ve ilk tabaka hatalarının hangisinin en etkin olduğunun bulunması amaçlı Boolean Mantık operatörü kullanılarak elde edilen sonuçlarına göre (Tab-

lo10) Trafik Kazaları olasılığı %33 bulunurken, üç adet ilk tabaka hatalarında en etkin görülen Çevresel hatalar, ardından Kişisel hatalar ve son olarak araçlardan oluşan hatalardır.

Tablo 10. Üst Olay ve Üç Ana Faktör İçin Olasılık Değerleri

Faktörler	Boolean Mantık operatörü	Olasılık Değeri
X1	$P (X11 \cap X12 \cap X13 \cap X14 \cap X15 \cap X16 \cap X17)$	0,7239
X2	$P (X21 \cap X22 \cap X23 \cap X24 \cap X25 \cap X26 \cap X27)$	0,795194
X3	$P (X31 \cap X32)$	0,5734
X (ÜST OLAY)	$P (X1 \cap X2 \cap X3)$	0,5734

Sonuç

Oluşturulan hata ağacı doğrultusunda yapılan risk analizi çalışması sonucunda, en yüksek risk değerlerine sahip gruplar Boolean Mantık operatörü kullanılarak belirlenmiştir. Kişisel hatalardan en yüksek risk değerleri sıralamasında önemli olan hatalar şu şekilde sıralanabilir. Yaş (X11),Emniyet kemeri (X15) ve Alkol Durumu (X17) en yüksek kaza olasılıklarına sahip oldukları ortaya konulmuştur. Çevresel hatalardan olan ve en yüksek hata olasılığına sahip olan, Hava Durumundan (X22) ve Yol Kaplama Cinsinden (X21) dolayı oluşan kazaların olasılık değerlerinin en yüksek olduğu belirlenmiştir. Üçüncü hata olan Araçtan kaynaklanan hatada ise Otomobilin (X32) trafik kazalarında olasılığının en yüksek olduğu görülmüştür.

Genel olarak trafik kazalarına TUİK verilerinden elde edilen üç ayrı hatanın etkisi ile oluşma olasılığının belirlenmesi için yapılan Boolean Mantık operatörü ile elde edilen sonuçlara göre olasılık %33 olarak belirlenmiştir.

Bu elde edilen sonuçlar doğrultusunda Türkiye'deki araç sürücülerin ölümcül ve ağır yaralı sonuçlanan trafik kazalarında hava durumunun iyi olduğu koşullarda daha fazla kaza yapma olasılıklarının olduğu belirlenmiştir. Bunun nedeni, kötü hava koşullarında sürücülerin düşük hız ve daha dikkatli kullanması trafik kazalarında ölümcül ve ağır yaralanmayla sonuçlanan kazaların olmamasından dolayı olabilir. Kısaca, sürücülerin iyi hava koşullarında kara yollarında yapacakları seyahatlerinde eskisinden daha dikkatli davranması, hız sınırlamalarında daha dikkatli olmaları gerekmektedir. Türkiye'de karayollarına yapılan büyük yatırımların geçmiş yıllardaki gibi yol cinsinden dolayı oluşan kazalarda her geçen gün düşmesine neden olduğu da anlaşılmıştır. Buradan sonuçla kara yollarına yapılan yatırımların yol kaplama cinslerinde kaliteyi getirdiği ve bunun gelecekte pek fazla ölümcül ve ağır yaralanmayla sonuçlanan kazalarda düşmeye neden olacağı, bu çalışma ile risk sıralaması sonuçlarında her geçen yıl daha da gerileyeceği düşünülmektedir. Araçla ilgili hatalardan olan Araç cinsinde ise otomobilin diğer araç türlerine göre çok daha fazla kaza olasılık değerine sahip olduğu bulunmuştur.

Sürücülerin bu tip sonuçları ağır olan kazalarda yaşlarının diğer önemli risk faktörü olduğu görülmüştür. Sürücülerin araç kullanımındaki tecrübesi, yaşlarının verdiği heyecan, kendine aşırı güven gibi konularda davranmaları olarak düşünülebilir. Bu noktada sü-

rücülere sürücü belgesi almaya hak kazanabilmesi için verilen eğitimlerde her yaş grubu için farklı eğitimlerin verilmesi ve ruh sağlığı testlerinin yapılması önerilebilir. Diğer önemli risk faktörü ise, sürücülerin alkol alıp almama durumlarıdır. Fakat düşünüldüğü gibi alkolü araç kullananların ölüm ve ağır yaralanmayla sonuçlanan kazaların oranı, alkol almayan sürücülerin yaptıkları kazalardan çok daha az olduğu belirlenmiştir. Alkol almayan sürücülerin bu tip kazalara daha fazla karışmalarının nedeni olarak trafik kaza raporlarında belirlenemeyen sebeplerden olan uykusuzluk, dikkat eksikliği gibi bir çok nedenden kaynaklandığı veya alkol alan sürücülerin alkolün yaratabileceği olumsuz durumların farkında olup ona göre hızlı gitmemeleri veya trafik kaza tutanaklarında tam net olarak belirlenememiş olması da olabilir. Ne olursa olsun alkollü araç kullanımının her geçen gün düştüğü trafik ceza tutanaklarından daha net ortaya çıkmıştır. Verilen eğitimler, TV programları, yazılı basında çıkan haberler bu oranın düşmesine de neden olmuş olabilir.

Bu çalışmadan genel bir sonuç çıkartılırsa, Türkiye'de oluşan ölümlü ve ağır yaralı sonuçlanan trafik kazalarında diğer Avrupa ülkelerinin bir çoğundan bugün için daha iyi olduğu, kara yollarına yapılan duble yol çalışmaları ve diğer ulaşım araçlarına yapılan diğer yatırımlar sayesinde her geçen gün bu sayının düştüğü ve düşmeye devam edeceği anlaşılmıştır. Bunun yanında sürücülerin eğitim seviyelerinin yükselişi ve eğitim alanına yapılan büyük yatırımlar gelecekte Türkiye için 2 yıl öncesine kadar çok büyük bir terör olarak görülen ağır yaralı ve ölümlü sonuçlanan trafik kazalarının düşmesine neden olacağı anlaşılmıştır.

Kaynakça

- Adrian S, Matthias E, Erikvon E, (2010), Mortality from road traffic accidents in Switzerland: Longitudinal and spatial analysis, *Accident Analysis and Prevention*
- Ariana V. J, Josipa K, Zrinka B. (2006), Risk factors in urban road traffic accidents, *Journal of Safety Research*,37 93 – 98
- Arianne T. B, Daniel J.V. (2003), Risk perception of traffic participants, *Accident Analysis and Prevention*, 35 167–175

- Benner, L., (1978). "Five Accident Theories and Their Implications for Research" Paper presented at the Joint International Meeting of the American Association for Automotive Medicine and the International Association for Accident and Traffic Medicine, Ann Arbor MI., 2-3.
- Benoît D, Geert W, Koen V. (2008), Traffic accident segmentation by means of latent class clustering, *Accident Analysis and Prevention* 40, 1257–1266
- Birgitta F, Henry M. (2007)., Developing traffic safety interventions from conceptions of risks and accidents, *Transportation Research Part F* 10 414–427
- Enrico Z, (2007)., An introduction to the basics of reliability and risk analysis, Singapore : World Scientific Ericson C., 1999
- Goldsmith, J.R., Cwikel, J.M., (1993). Mortalidad en los jóvenes adultos: comparaciones internacionales. *Salud Pública Mexico* 35, 132–147.
- Graham, J.,(1993). Injuries from traffic crashes: meeting the challenge. *Annual Review of Public Health* 14, 515–543.
- Heather S. L, Clayton N, Dennis M. D, (2007), Predicting risky and angry driving as a function of gender, *Accident Analysis and Prevention* 39 536–545.
- Ladkin, P. B., (1999). "A Quick Introduction to Why-Because Analysis", University of Bielefeld, Bielefeld, pp.10.
- Lars Harms Ringdahl, (2001), "Safety Analysis Principles and Practice in Occupational Safety", Second Edition , Tailor and Francis, London Newyork.
- Jacqueline J, (2002)., Risk Management: 10 Principles, s:13
- Martha H , Carlos C, Mario F, Rafael A, Victoria L, (2000), Risk factors in highway traffic accidents: a case control study, *Accident Analysis and Prevention* 32, 703–709.
- Mackie, J. L., (1993). "Causation and Conditions, Causation and Conditions", Oxford University Pres, Oxford, 33;56-57.
- Özlem Ö, (2005)., İş Sağlığı ve Güvenliği Yönetim Sistemleri ve Risk Değerlendirme Metodolojileri, *Türkiye İşveren Sendikaları Konfederasyonu Yayın No: 246*
- Patricia S. H, David A. T, Daniel J. F, John W. E, Robert B. W. (1998). Crash risks of older drivers: a panel data analysis, *Accid. Anal. and Prev.*, Vol. 30, No. 5, pp. 569–581.
- Ringdahl, L, H., (2001), "Safety Analysis Principles and Practice in Occupational Safety", Second Edition, Tailor and Francis, London .
- Simo S, Erkki L,(2002)., Risk factors in work-related traffic, *Transportation Research Part F* 5 77–86
- Trond N, Torbjørn R. (2009). Perceptions of traffic risk in an industrialised and a developing country, *Transportation Research Part F* 12 91–98
- TÜİK, (2007), Trafik Kaza İstatistikleri (Karayolu)
- Wuhong W, Xiaobei J, Shuangchen X, Qi C, (2010)., Incident tree model and incident tree analysis method for quantified risk assessment: An in-depth accident study in traffic operation, *Safety Science* 48 1248–1262
- Zotoz, D. V., (1996). "Reporting Human Factors Accidents", International Seminar of the International Society of Air Safety Investigators, Auckland, 159.

Ek

1. Kişisel Faktör (X1) İçin hesaplamalar;

İlk adım olarak kişisel faktörün (X1) alt faktörü olan Yaş faktörü (X11) için ilk hesaplamalar aşağıdaki denklemde sunulmuştur.

$$\begin{aligned}
P(X111 \cup X112 \cup X113 \cup X114 \cup X115) &= ((X111+X112+X113+X114+X115)- \\
& (X111 \times X112 \times X113 \times X114 \times X115)) \\
&= (0,0278 + 0,0493 + 0,1051 + 0,7946 + \\
& 0,0232) - (0,0278 \times 0,0493 \times 0,1051 \times \\
& 0,7946 \times 0,0232) = (1) - (2,6554 \cdot 10^{-6}) = 0,9999
\end{aligned}$$

Kişisel faktörün (X1) ikinci alt faktörü olan Cinsiyet faktörü (X12) için ilk hesaplamalar aşağıdaki denklemde sunulmuştur.

Cinsiyet faktörü (X12) için;

$$\begin{aligned}
P(X121 \cup X122) &= (X121 + X122) - (X121 \cdot X122) = (0,9558 + 0,0442) - (0,9558 \cdot \\
& 0,0442) = 1 - 0,042 = 0,958
\end{aligned}$$

Kişisel faktörün (X1) üçüncü alt faktörü olan Eğitim faktörü (X13) için hesaplamalar aşağıdaki denklemde sunulmuştur.

Eğitim faktörü (X13) için;

$$\begin{aligned}
P(X131 \cup X132 \cup X133 \cup X134 \cup X135) &= (X131 + X132 + X133 + X134 + X135) - \\
& (X131 \cdot X132 \cdot X133 \cdot X134 \cdot X135) = (0,3917 + 0,1238 + 0,0923 + 0,2458 + 0,1464) - \\
& (0,3917 \cdot 0,1238 \cdot 0,0923 \cdot 0,2458 \cdot 0,1464) = 1 - 1,6106 \cdot 10^{-4} = 0,9998
\end{aligned}$$

Kişisel faktörün (X1) dördüncü alt faktörü olan Emniyet kemeri faktörü (X14) için hesaplamalar aşağıdaki denklemde sunulmuştur.

Emniyet Kemer Faktörü (X14) için;

$$\begin{aligned}
P(X141 \cup X142) &= (X141 + X142) - (X141 \cdot X142) = (0,9686 + 0,0314) - (0,9686 \cdot \\
& 0,0314) = 1 - 0,0304 = 0,9696
\end{aligned}$$

Kişisel faktörün (X1) beşinci alt faktörü olan Sürücü Belgesi faktörü (X15) için hesaplamalar aşağıdaki denklemde sunulmuştur.

Sürücü Belgesi Faktörü X15 için;a

$$\begin{aligned}
P(X151 \cup X152 \cup X153 \cup X154 \cup X155) &= (X151 + X152 + X153 + X154 + X155) - \\
& (X151 \cdot X152 \cdot X153 \cdot X154 \cdot X155) = (0,0012 + 0,1386 + 0,586 + 0,2742) - (0,0012 \cdot \\
& 0,1386 \cdot 0,586 \cdot 0,2742) = 1 - 2,6724 \cdot 10^{-5} = 0,9999
\end{aligned}$$

Kişisel faktörün (X1) altıncı alt faktörü olan Sürücü Belgesinin Alındığı Yer faktörü (X16) için hesaplamalar aşağıdaki denklemde sunulmuştur.

Sürücü Belgesinin Alındığı Yer (X16) için;

$$\begin{aligned}
P(X161 \cup X162) &= (X161 + X162) - (X161 \cdot X162) = (0,3278 + 0,6722) - (0,3278 \cdot \\
& 0,6722) = 1 - 0,2203 = 0,7797
\end{aligned}$$

Kişisel faktörün (X1) yedinci alt faktörü olan Alkol Durumu faktörü (X17) için hesaplamalar aşağıdaki denklemde sunulmuştur.

Alkol Durumu Faktörü (X17) için;

$$P(X171 \cup X172 \cup X173 \cup X174 \cup X175 \cup X176 \cup X177) = (X171 + X172 + X173 + X174 + X175 + X176 + X177) - (X171 \cdot X172 \cdot X173 \cdot X174 \cdot X175 \cdot X176 \cdot X177) = (0,2618 + 0,1834 + 0,1082 + 0,1134 + 0,1105 + 0,2227) - (0,2618 \cdot 0,1834 \cdot 0,1082 \cdot 0,1134 \cdot 0,1105 \cdot 0,2227) = 1 - 1,4497 \cdot 10^{-5} = 0,9999$$

Yedi alt faktöre uygun olarak Kişisel Faktör (X1) için hesaplamalar aşağıda verilmiştir.

Kişisel Faktör (X1) için;

$$\underline{P(X11 \cap X12 \cap X13 \cap X14 \cap X15 \cap X16 \cap X17) = 0,9999 \cdot 0,958 \cdot 0,9998 \cdot 0,9696 \cdot 0,9999 \cdot 0,7797 \cdot 0,9999 = 0,7239}$$

2. Çevresel faktör (X2) için hesaplamalar;

Çevre faktörün (X2) alt faktörü olan Yol Kaplama Cinsi faktörü (X21) için hesaplamalar aşağıdaki denklemde sunulmuştur.

Yol Kaplama Cinsi faktörü (X21) için;

$$P(X211 \cup X212 \cup X213 \cup X214 \cup X215) = ((X211 + X212 + X213 + X214 + X215) - (X211 \cdot X212 \cdot X213 \cdot X214 \cdot X215)) = (0,0137 + 0,9414 + 0,0351 + 0,0076 + 0,0022) - (0,0137 \cdot 0,9414 \cdot 0,0351 \cdot 0,0076 \cdot 0,0022) = 1 - 7,5690 \cdot 10^{-9} = 0,9999$$

Çevre faktörün (X2) alt faktörü olan Hava Durumu faktörü (X22) için hesaplamalar aşağıdaki denklemde sunulmuştur.

Hava Durumu faktörü (X22) için;

$$P(X221 \cup X222 \cup X223 \cup X224 \cup X225 \cup X226 \cup X227) = (X221 + X222 + X223 + X224 + X225 + X226 + X227) - (X221 \cdot X222 \cdot X223 \cdot X224 \cdot X225 \cdot X226 \cdot X227) = (0,7655 + 0,1359 + 0,084 + 0,0083 + 0,0057 + 0,0003 + 0,0003) - (0,7655 \cdot 0,1359 \cdot 0,084 \cdot 0,0083 \cdot 0,0057 \cdot 0,0003 \cdot 0,0003) = 1 - 3,720826 \cdot 10^{-14} = 1$$

Çevre faktörün (X2) alt faktörü olan Geometrik Özellikler faktörü (X23) için hesaplamalar aşağıdaki denklemde sunulmuştur.

Geometrik Özellikler faktörü (X23) için;

$$P(X231 \cup X232 \cup X233 \cup X234 \cup X235) = (X231 + X232 + X233 + X234 + X235) - (X231 \cdot X232 \cdot X233 \cdot X234 \cdot X235) = (0,2265 + 0,1172 + 0,1516 + 0,2312 + 0,2735) - (0,2265 \cdot 0,1172 \cdot 0,1516 \cdot 0,2312 \cdot 0,2735) = 1 - 2,54472 \cdot 10^{-4} = 0,9997$$

Çevre faktörün (X2) alt faktörü olan Aydınlatma faktörü (X24) için hesaplamalar aşağıdaki denklemde sunulmuştur.

Aydınlatma faktörü (X24) için;

$$P(X241 \cup X242 \cup X243) = (X241 + X242 + X243) - (X241 \cdot X242 + X241 \cdot X243 + X242 \cdot X243) = (0,5222 + 0,4772 + 0,0006) - (0,5222 \cdot 0,4772 + 0,5222 \cdot 0,0006 + 0,4772 \cdot 0,0006) = 1 - 1,49516 \cdot 10^{-4} = 0,9998$$

Çevre faktörün (X2) alt faktörü olan Yol Çalışma faktörü (X25) için hesaplamalar aşağıdaki denklemde sunulmuştur.

Yol Çalışma faktörü (X25) İÇİN;

$$P(X251 \cup X252) = (X251 + X252) - (X251 \cdot X252) = (0,9918 + 0,0082) - (0,9918 \cdot 0,0082) = 1 - 8,13276 \cdot 10^{-3} = 0,9918$$

Çevre faktörün (X2) alt faktörü olan Gün Durumu faktörü (X26) için hesaplamalar aşağıdaki denklemde sunulmuştur.

Gün Durumu faktörü (X26) için;

$$P(X261 \cup X262) = (X261 + X262) - (X261 \cdot X262) = (0,7286 + 0,2714) - (0,7286 \cdot 0,2714) = 1 - 0,1977 = 0,80225$$

Altı alt faktöre uygun olarak Çevre Faktörü (X2) için hesaplamalar aşağıda verilmiştir.

Çevre Faktörü (X2) için;

$$\underline{\underline{P(X21 \cap X22 \cap X23 \cap X24 \cap X25 \cap X26 \cap X27) = 0,9999 \cdot 1 \cdot 0,9997 \cdot 0,9998 \cdot 0,9918 \cdot 0,80225 = 0,795194}}$$

1. Araçla ilgili faktör (X3) için hesaplamalar;

Araçla ilgili faktörün (X3) alt faktörü olan Model Yılı faktörü (X31) için hesaplamalar aşağıdaki denklemde sunulmuştur.

Model Yılı faktörü (X31) için;

$$P(X311 \cup X312 \cup X313) = (X311 + X312 + X313) - (X311 \cdot X312 + X311 \cdot X313 + X312 \cdot X313) = (0,2265 + 0,2505 + 0,2979 + 0,2249) - (0,2265 \cdot 0,2505 + 0,2265 \cdot 0,2979 + 0,2505 \cdot 0,2979 + 0,2249) = 1 - 3,80133 \cdot 10^{-3} = 0,9962$$

Araçla ilgili faktörün (X3) alt faktörü olan Araç Türü faktörü (X32) için hesaplamalar aşağıdaki denklemde sunulmuştur.

Araç Türü faktörü (X32) için;

$$P(X321 \cup X322 \cup X323 \cup X324 \cup X325 \cup X326) = (X321 + X322 + X323 + X324 + X325 + X326) - (X321 \cdot X322 + X321 \cdot X323 + X321 \cdot X324 + X321 \cdot X325 + X321 \cdot X326 + X322 \cdot X323 + X322 \cdot X324 + X322 \cdot X325 + X322 \cdot X326 + X323 \cdot X324 + X323 \cdot X325 + X323 \cdot X326 + X324 \cdot X325 + X324 \cdot X326 + X325 \cdot X326) = (0,0309 + 0,611 + 0,0574 + 0,197 + 0,0594 + 0,0442) - (0,0309 \cdot 0,611 + 0,0309 \cdot 0,0574 + 0,0309 \cdot 0,197 + 0,0309 \cdot 0,0594 + 0,0309 \cdot 0,0442 + 0,611 \cdot 0,0574 + 0,611 \cdot 0,197 + 0,611 \cdot 0,0594 + 0,611 \cdot 0,0442 + 0,0574 \cdot 0,197 + 0,0574 \cdot 0,0594 + 0,0574 \cdot 0,0442 + 0,197 \cdot 0,0594 + 0,197 \cdot 0,0442 + 0,0594 \cdot 0,0442) = 1 - 5,60514 \cdot 10^{-7} = 0,9999$$

İki alt faktöre uygun olarak Araçla ilgili faktörün (X3) için hesaplamalar aşağıda verilmiştir.

Araçla ilgili faktörün (X3) için;

$$\underline{\underline{P(X31 \cap X32) = 0,9962 \cdot 0,9999 = 0,9961}}$$

$$\underline{\underline{P(\text{üst Olay Olasılığı}) = (X1 \cap X2 \cap X3) = 0,7239 \cdot 0,795194 \cdot 0,9961 = 0,5734}}$$