MÜHENDİSLİK, MİMARLIK, TASARIMDA

TEORİ, UYGULAMA VE ARAŞTIRMALAR



EDİTÖRLER
Prof. Dr. Ali Riza MOTORCU, Prof. Dr. Ashok JAMMI,
Dr. Öğr. Üyesi Senai YALÇINKAYA

MÜHENDİSLİK, MİMARLIK TASARIMDA TEORİ
UYGULAMA VE ARAŞTIRMALAR

EDİTÖRLER
Prof. Dr. Ali Rıza MOTORCU
Prof. Dr. Ashok JAMMI
Dr. Öğr. Üyesi Senai YALÇINKAYA

MÜHENDİSLİK, MİMARLIK, TASARIMDA TEORİ, UYGULAMA VE ARAŞTIRMALAR

EDİTÖRLER
Prof. Dr. Ali Rıza MOTORCU
Prof. Dr. Ashok JAMMI
Dr. Öğr. Üye. Senai YALÇINKAYA

Güven Plus Grup A.Ş. Yayınları: 14/2022
20 ARALIK 2022

Yayıncı Sertifika No: 52866
E-ISBN: 978-625-7367-39-4
Güven Plus Grup A.Ş. Yayınları

Bu bilimsel kitabının her türlü yayın hakkı GÜVEN PLUS GRUP DANIŞMANLIK A.Ş. YAYINLARI'na aittir. Yayınevinin yazılı izni olmadan, bilimsel/akademik kitabın tümünün veya bir kısmının elektronik, mekanik ya da fotokopi yoluyla basımı, yayını, çoğaltımı ve dağıtımı yapılamaz. ***Kitapta yer alan her bölüm ve makalenin sorumluluğu, görseller, grafikler, direkt alıntılar ve etik kurul ve kurum iznine yönelik sorumluluk ilgili yazarlara aittir. Bu yönde Oluşabilecek Herhangi Hukuki bir olumsuzlukta Yayınevi başta olmak üzere kitabın hazırlanmasına destek sağlayan kurumlar, kitabın düzenlenmesi ve tasarımından sorumlular kurum(lar) ve kitap editörleri, hakemler, düzenleme kurulu, bilim kurulu ve diğer kurullar ile yayınevi hiçbir konuda "maddi ve manevi" bir yükümlülük ve hukuki sorumluluğu kabul etmez ve etmesi istenemez; hukuki yükümlülük altına alınamaz. Her türlü hukuki yükümlülük ve sorumluluk "maddi ve manevi" yönden ilgili bölüm yazar(lar)ına aittir. Bu yöndeki haklarımızı maddi ve manevi yönden GÜVEN PULUS GRUP DANIŞMANLIK "YAYINCILIK"A.Ş. olarak ve kitap bilim/editörler kurulları adına saklı tutarız. Herhangi bir hukuki sorunda/durumda İSTANBUL mahkemeleri yetkilidir.*** Güven Plus Grup Danışmanlık bünyesinde hazırlanan ve yayınlan bu eser ISO: 10002:2014-14001:2004-9001:2008-18001:2007 belgelerine sahiptir. Bu eser TPE "Türk Patent Enstitüsü" tarafından "Güven Plus Grup A.Ş.2016/73232" ve "2015/03940" nolu tescil numarası ile markalı bir eserdir. Bu bilimsel/akademik kitap ulusal ve uluslararası nitelikte olup, İstanbul Valiliği İl Kültür ve Turizm Müdürlüğü İstanbul Basma Yazı ve Resimleri Derleme Müdürlüğünün Sayı: 37666426-207.01[207.02.02]-E.62175 Tarih: 21.01.2019 bilgileri ile resmi olarak belgelendirilmiştir. ***"2019 yılı akademik teşvik kriterleri kapsamında olup, 17/01/2020 tarihli ve 31011 sayılı Resmî Gazete'de yayımlanan 16/1/2020 tarihli ve 2043 sayılı Cumhurbaşkanı Kararı Uyarınca ilgili yayınlanan yönetmelik kapsamında değerlendirilmekte"*** olup, akademik teşvik kriterlerini karşılamaktadır. Çok bölümlü ve yazarlı olan bu bilimsel kitabı E-ISBN'li olup Kültür Bakanlığı Milli Kütüphaneler tarafından ve 18 Farklı Dünya Ülkesiyle Anlaşmalı olan Milli Kütüphanenin E Erişim sistemi tarafından da taranmaktadır. Bu kitap maddi bir değer ile alınıp satılamaz. Kitap yer alan bölüm, makalelerden alıntı yapmak ve ilgili bölüm ile makaleye atıf yapılmak koşulu ile kaynak gösterilmek üzere bilimsel ya da ilgili araştırmacılar tarafından kullanılabilir. ***Yayın evimiz ve kitap editörler kurulu kişisel verilerin korunması ve özel hayatın gizliliği kanunlarına uygun hareket eder. Bilimsel kitap bölüm yazarlarının da bu yönde hareket etmesini zorunlu kılar. Kişisel verilerin korunmasına ilişkin olarak işbu akademik/bilimsel kitabına sahip olan bireylerin ilgili kanun, yönetmelik ve uygulamalara göre hareket etmesi bir zorunluluktur. Bunun aksi hareket edenler hakkında oluşan hukuki, maddi ve manevi sorun ile zorunlulukları peşinen kabul etmiş sayılır.***

Metin ve Dil Editörleri
Doç. Dr. Gökşen ARAS (Türkçe – İngilizce)
Dr. Öğr. Üye. L. Santhosh KUMAR (İngilizce)

Kapak ve Grafik Tasarım
Öğr. Gör. Ozan KARABAŞ
Ozan DÜZ

Sayfa Düzeni
Burhan MADEN

Baskı-Cilt
GÜVEN PLUS GRUP DANIŞMANLIK A.Ş. YAYINLARI®
Kayaşehir Mah. Başakşehir Emlak Konutları, Evliya Çelebi Cad. 1/A D Blok K4 D29 Başakşehir İstanbul Tel: +902128014061- 62 Fax:+902128014063 Mobile:+9053331447861

KİTAP İMTİYAZ SAHİBİ
GÜVEN PLUS GRUP DANIŞMANLIK A.Ş. YAYINLARI®
Kayaşehir Mah. Başakşehir Emlak Konutları, Evliya Çelebi Cad. 1/A D Blok K4 D29 Başakşehir İstanbul Tel: +902128014061-62-63 - +905331447861 info@guvenplus.com.tr, www.guvenplus.com.tr

İÇİNDEKİLER

ÖNSÖZ 4

KENTSEL SOSYAL SÜRDÜRÜLEBİLİRLİĞİN SAĞLANMASINDA KAMUSAL MEKÂN TEMELLİ BİR YAKLAŞIM 6
Şeyda AKÇALI, Arzu ISPALAR ÇAHANTİMUR

BURSA HANLARINDA MEKÂNSAL TERCİHLER, MEKÂN DİZİMİ VE İŞLEV ÜZERİNE BİR KARŞILAŞTIRMA 35
Kemal Furkan ULUSOY, Süheyla BÜYÜKŞAHİN

TEMEL TASARIM KAVRAMININ İÇ MİMARLIK VE RESİM BRANŞLARI ÖZELİNDE DİSİPLİNLERARASI DEĞERLENDİRİLMESİ..... 53
Damla ÇAĞAL TAŞDELEN

ANTAKYA MÜZE OTELİ'NİN YAPIM TEKNİĞİ AÇISINDAN İNCELENMESİ..... 84
Ayşenur KARA, Ufuk Fatih KÜÇÜKALİ

ANTİBİYOTİK KİRLİLİĞİ VE SULARDAN ANTİBİYOTİK GİDERİMİ..... 111
Belgin KARABACAKOĞLU

İSTANBUL TRAFİĞİ TESPİTLERİ VE ÇÖZÜM ÖNERİLERİ..... 139
Mustafa ILICALI, Mahmut Esad ERGİN, Muhammed Melikşah ÇAKALOĞLU

ŞEKİL HAFIZALI ALAŞIMLARIN FONKSİYONEL ÖZELLİKLERİ VE ŞEKİL HAFIZA EĞİTİM SÜREÇLERİ..... 155
Sedat GÜVEN, Hasan GÖKKAYA, Ali Rıza MOTORCU, Gökhan SUR

SİSTEM TEMELLİ KAZA ANALİZ VE RİSK DEĞERLENDİRME METODU: FRAM..... 180
Bilal MURAT, Ali Riza MOTORCU

MODERN İMALAT TEKNİKLERİ VE YAKLAŞIMLARI 196
Senai YALÇINKAYA, Alper ÖNER

SİSTEM TEMELLİ KAZA ANALİZ VE RİSK DEĞERLENDİRME METODU: FRAM

Bilal MURAT[1], Ali Riza MOTORCU[2]

Öz: İş güvenliği analizinde kullanılan metotlar gelişen teknoloji ile birlikte evrilerek günümüz sistemlerini analiz edebilmek için sistem tabanlı kaza analiz ve risk değerlendirme metotlarına dönüşmüşlerdir. Geleneksel modellerin günümüz kazalarını açıklamakta yetersiz kalması ile geliştirilen metotlardan bir tanesi olan ve son yılara artan bir oranda araştırmalara konu olmaya başlayan Fonksiyonel Rezonans Analiz Metodu (FRAM) çalışma kapsamında incelenmiştir. FRAM geliştirdiği dört temel prensip çerçevesinde kazaların meydana gelişini sistem fonksiyonlarının tıpkı bir rezonansta olduğu gibi etkileşime girmesi sonucunda meydana geldiğini kabul ederek açıklamaktadır. Bu çerçevede yapılacak analizler (1) sistem fonksiyonların belirlenmesi, (2) fonksiyon sapmalarının belirlenmesi, (3) fonksiyonların eşleşmesi ve (4) meydana gelen olayların yönetilmesi olmak üzere 4 aşamadan oluşmaktadır. Ayrıca fonksiyonları birbirileriyle etkileşimlerinin belirlenebilmesi için fonksiyonları "girdi, zaman, çıktı, kontrol, kaynak ve önkoşullar" gibi alt fonksiyonlara ayrılımı yapılarak fonksiyonların nasıl birbiriyle etkileşime girdiği modellenebilmektedir. Yapılan çalışma ile FRAM metodu ile yapılan çalışmaların derlenerek alanda yeni araştırmacılara ışık olunması ve araştırma eğilimlerinin tespit edilmesi amaçlanmıştır. Bu maksatla VOSviewer programı kullanılarak literatürün bibliyometrik analizleri yapılmış ve başlıca çalışma örnekleri özetlenmiştir. FRAM metodunun havacılık, sağlık, endüstriyel operasyonlar gibi birçok alanda kullanılmaya başlandığı ve son yıllarda

1 Çanakkale Onsekiz Mart Üniversitesi, Lisansüstü Eğitim Enstitüsü, Çanakkale/Türkiye, e-mail: murratbilal@gmail.com , Orcid No: 0000-0002-1257-3039

2 Çanakkale Onsekiz Mart Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Çanakkale/Türkiye, e-mail: armotorcu@comu.edu.tr, Orcid No: 0000-0002-9129-8935

çalışma sayısında önemli oranda artış olduğu görülmüştür. Ayrıca FRAM çalışmalarının esneklik mühendisliği, sosyoteknik sistemler, kompleks sistemler, risk değerlendirmesi anahtar kelimeleri ile yakın ilişkisinin olduğu yapılan veri analizleri neticesinde tespit edilmiştir. Elde edilen bulgular neticesinde FRAM' in sistem fonksiyonlarını modelleyerek meydana gelebilecek değişimleri iyi olarak sergilediği ve başarılı sonuçlar verdiği sonucuna ulaşılmıştır.

Anahtar Kelimeler: Fonksiyonel Analiz Metodu, FRAM, Kaza Analizi, Risk Değerlendirmesi

GİRİŞ

İnsanlar ilk önceleri iş kazalarını, ilahi bir anlam katarak "Tanrının takdiri" olarak açıklamaya çalışmışlardır. Ancak endüstri devrimi ile bu anlayış, 1919 yılında ilk kaza modeli olan "kaza yatkınlık eğilimi" modelinin oluşturulması ile yerini bilimsel temelli yaklaşımlara bırakmıştır. Günümüz itibariyle oldukça yüksek bir sayıya ulaşan bu modeller ve metotlar gelişen teknoloji, teknik ve üretim yöntemleri ile birlikte gelişerek iş yerlerinde kazaların nasıl oluştuğunu açıklama çabasını sürdürmektedir (Fu vd, 2020).

Endüstri devriminden itibaren günlük hayatın artan oranda bir parçası haline gelen iş kazaları, analiz edilirken işlerin doğru planlandığı, çalışanların ise işleri olması gibi yerine getirdiği ve kazalara neden olan şeylerin planlanan proseste meydana gelen sapmalar veya hatalar nedeniyle oluştuğu kabulü ile gerçekleştirilmiştir (Hollnagel, 2012). Bu varsayımlar ile gerçekleştirilen geleneksel kaza analiz teorileri teknik sistemlerde meydana gelen kazaları açıklamakta başarılı olup iş kazalarını;

- Sistemin bir parçasında meydana gelen aksaklık neticesinde oluştuğu,
- Her kazanın kendine has kök nedenleri olduğu,
- Gerekli bilgiler/kanıtlar toplandığında bir analist tarafından kazaya neden olan etmenlerin anlaşılabileceği ve
- Tespit edilen bu aksaklıkların ortadan kaldırılmasıyla gelecekte kazaların önüne geçilebileceği temeline dayandırılmıştır (Ham, 2021).

Bu çerçevede, bilimsel ve teknolojik alanda ki ilerlemeler paralelinde kaza analiz teorilerinin dayandığı prensipler ilk olarak doğrusal olarak faktörlerin etkileşimi ile kazaları açıklayan teorilerden (domino teorisi, vb.) kazaların da hastalıklar gibi meydana geldiğini savunan epidiyomolojik teorilere (…) yönelik bir gelişim aşamaları göstermiştir (Hollnagel ve Goteman, 2004). Ancak, organizasyonların iş güvenliği konusuna gösterdikleri olanca çabaya rağmen sadece basit durumlarda işe yaraması 1970'lerin sonlarına doğru risk değerlendirmesi, kaza incelemesi ve İSG yönetimi kapsamında basit lineer düşüncenin artık önemini yitirdiğinin kabul edilmesine neden olmuştur (Hollnagel, 2012) .

Bu kapsamda, geleneksel modellerin iş yeri güvenliğini sağlama ve günümüz koşullarına cevap vermede yetersiz kalması, teknolojinin çeşitlenmesi, sistemlerin karmaşıklaşması ile insan makine etkileşimlerinde ki artış tüm sistemin bir bütün içerisinde ele alınmasını gerekli kılmış olup geleneksel yöntemler ile yapılan analizlerin beklenen doğru sonuçları vermemesine neden olmuştur (Ham, 2021; Grant vd, 2018). Böylelikle iş güvenliği–II (*Safety-II*) olarak adlandırılan ve performans değişkenliklerini proaktif tutumla yönetmeyi amaçlayan yaklaşımında içinde bulunduğu bir dönem ortaya çıkmıştır. Bu dönemde sistem parçalarının izole edilemediği, günlük işlerin esnek ve değişken olduğu ve performans değişkenliğinin hem başarıya hem de hataya götürebileceği kabul edilmektedir (Patriarca vd, 2017).

Bu yaklaşım, yoğun teknoloji, insan ve organizasyon etkileşimi gerektiren sosyoteknik sitemler olarak adlandırılan sistemlerin artması sonucunda ortaya çıkmış ve günümüz iş güvenliği sorunlarını çözmek üzere sistem tabanlı yöntemler kullanılmasını gerekli kılmıştır (Smith vd, 2017). Bu bağlamda, kazaların oluşumu üzerine yapılan incelemeler neticesinde kazaların sadece basit lineer nedenlerden kaynaklanmadığını, "kompleks ve etkileşim" içerisinde bulunan etkenlerden ileri geldiği sonucuna varılmıştır. Bu nedenle bir kazanın nedeninin anlaşılabilmesi "teknolojik, psikolojik, organizasyonel çevresel ve geçici" faktörlerinde dikkate alınarak yapılacak sentezlere ihtiyaç duymaktadır (Hollnagel, 2012). Ayrıca, böylesine kompleks sosyoteknik sistemler, hem kaza analizlerinde hem de risk değerlendirmelerinde sonuca ulaşabilmesi için

multidisipliner yaklaşım sergilenmesini gerekli kılmaktadır (Qureshi, 2007).

Gelinen bu aşamada sistem fonksiyonlarının dinamizmini ve etkileşimini doğrusal olmayan bağımlılık ve performans değişikliği ile ele alan Sistemler-Teorik Kaza Modeli ve Süreci (STAMP), Kaza Yönetimim Çerçevesi, Normal Kaza Teorisi, Hata Modeline Drift ve Fonksiyonel Rezonans Analiz Metodu (FRAM) gibi metotlar ortaya çıkmıştır (Grant vd, 2018; Patriarca vd, 2017). Endüstri 4.0 hayatımıza girmeye başlaması ile birlikte özellikle üretim sektörünün daha da karmaşık hale gelmesi beklenmektedir. Böylelikle, FRAM gibi kompleks sistemleri açıklamakta başarılı sonuçlar veren sistem temelli metotların kullanımının artması beklenmektedir (Mofidi Naeini ve Nadeau, 2021).

Fonksiyonel Rezonans Analiz Metodu-FRAM

İş güvenliğinin, iş kazaları olarak kabul edildiği 2004 yılında "fonksiyonel kaza analiz modeli" olarak hem kaza analizi ve risk değerlendirmede kullanılmak üzere Erik Hollnagel tarafından geliştirilmiştir. 2012 yılına gelindiğinde ise modelden ziyade kompleks sistemleri analiz etmekte kullanılabilecek bir "metot" olarak revize edilerek "fonksiyonel rezonans analiz metodu" adını almıştır (R. Patriarca vd, 2020). Dayandığı 4 temel prensip (Tablo-1) ile kazaların oluşumunu, yürütülen günlük işlerin *(Work As Done-WAS)* başarılı olarak yerine getirilebilmesi için gerekli olan fonksiyonların eşleşmesi (*coupling*) neticesinde oluşan rezonans sonucunda oluştuğunu savunmaktadır. Rezonans terimini sadece bir benzeşim olarak kullanan Hollnagel, rezonansın meydana gelmesinde olduğu gibi küçük titreşimlerin sistemde yıkımlara neden olabileceğini, bu titreşimlerin ise gene sistem içerisinde var olan fonksiyonların doğrusal olmayan etkileşimleri neticesinde meydana geldiğini ifade etmektedir (Hollnagel ve Goteman 2004).

Başka bir ifade ile FRAM, araştırmacılara sistemin fonksiyonlarının birbirleri ile etkileşimlerini nasıl olduğunu modelleyerek araştırmacılara kompleks sistemleri çözmede "zihin haritası" oluşturan (Slater vd, 2022), kaza analizi ve risk değerlendirilmesi yapmak üzere geliştirilmiş çift yönlü bir metot olarak tanımlanmaktadır (Hollnagel, 2012).

Kompleks sistemlerde fonksiyonlar arasındaki sıkı eşleşme ve ilişkilerin kolay takip edilememesi ve sistemin bir bütün olarak ele alınarak "sistem fonksiyonları arasında bulunan doğrusal olmayan ilişkiler ve farklı fonksiyonlar arasındaki etkileşimi" analiz etmekte kullanılmaktadır (Naeini ve Nadeau 2022).

Özetle; sistemi bir bütün olarak ele alıp iş kazalarını klasik neden sonuç ilişkisinden ziyade sistem fonksiyonlarının eşleşmesi ve bu eşelemelerin tıpkı rezonansta olduğu gibi ilk başta zayıf olan fonksiyonun diğer fonksiyonlar ile etkileşimi sonucunda oluşması nedeniyle rezonans metaforunu kullanarak açıklayan 4 aşamalı bir metottur (Smith vd, 2017) .

Tablo 1. FRAM Prensipleri

Prensip	Açıklaması
Hatalar ve başarılar eşittir	Her ikisi de aynı orijine sahip olup aynı nedenlerden dolayı hem başarı hem de hata meydana gelebilir.
Performans değişkendir	Günlük performans gelişen durumlara ayak uydurmak için değişmektedir.
Çıktı, beliren olaydır (emergent)	Sistemin çıktısı beklenen sonuçtan ziyade mevcut durum şartlarında ortaya çıkan ürün olarak adlandırılmalıdır.
Fonksiyonlar rezonans gibi etkileşir	Fonksiyonların ilişkisi sebep sonuç ilişkisinden ziyade özel etkileşimler (rezonans oluşumu gibi) sonucunda meydana gelmektedir.

FRAM, hataların ve başarıların aynı orijinden geldiğini savunarak "hataların doğasına odaklanmaktan ziyade günlük yaşamsal aktivelerin doğasına" odaklanarak olayların nasıl geliştiğini göstermeyi amaçlamaktadır. Bu nedenle hem kaza analizi hem de risk değerlendirme süreçlerinde kullanılabilinmektedir. Ancak FRAM olayların oluşları ile yorum yapmaksızın sadece oluşumunu göstermektedir (Hollnagel, 2012). Bu bağlamda, FRAM aşağıda açıklanan sıralı 4 adımda gerçekleştirilmektedir:

1. Sistem fonksiyonlarının tanımlanması,
2. Fonksiyonlarda meydana gelebilecek sapmaların belirlenmesi,
3. Fonksiyonların birbiri arasında ki eşleşmesi,
4. Fonksiyonların etkileşimi neticesinde meydana gelen rezonans sonucunda muhtemel olayların yönetilmesi

Sitem fonksiyonlarının neler olduğu belirlendikten sonra nasıl eşleştiklerinin ortaya konabilmesi için her bir fonksiyonun altı farklı özelliği şekil-1'deki gibi belirlenerek analize devam edilir (Hollnagel, 2012). Fonksiyonların modellenmesi ve görselleştirilmesi için FRAM Model Visualiser (FMV) programı ve bu modeli yorumlayabilmek için geliştirilmiş FRAM Model Interpreter (FMI) programı geliştirilerek açık kaynak erişimine sunulmuştur[3] (FRAM 2022). Ayrıca "FRAMily meetings" adı ile yıllık olarak düzenlenen gayri resmi toplantılar ile FRAM geliştirmeleri devam etmektedir (FRAM 2022; R. Patriarca vd, 2020).

FRAM Kullanım Alanları

FRAM son zamanlarda endüstri uygulamalarında yer bulması ile birlikte artan bir kullanım oranına sahip olmaya başlamıştır (R. Patriarca vd, 2020). Geçmiş olayların/kazaların analizinde (retrostik analiz) hem de sistem risklerini belirleme/yönetme ve sistem davranışı modellemede (perspektif analizi) kullanılan FRAM, literatürde yapılan çalışmaların oldukça büyük bölümünü perspektif çalışmalar içermektedir (R. Patriarca vd, 2020). R. Patriarca vd (2020) 2012 yılına kadar neredeyse tek uygulandığı alan havacılık sektörü iken 2016 yılı itibariyle oldukça yüksek bir sektör çeşitliliğine kavuştuğunu ve sağlık (%13,99), endüstriyel operasyonlar (%12,44), denizcilik (%8,81), demiryolu (%6,74), inşaat (%5,18) ve petrol sektöründe (%4,66) uygulanmaya başladığını ifade etmişlerdir. Ancak FRAM ile yapılan çalışmaların halen oldukça büyük çoğunluğunu havacılık sektörüne (%24,87) yönelik yapılan çalışmalar oluşturmaktadır. Ayrıca 2014 yılı itibariyle FRAM çalışmalarının Avrupa kıtası dışına çıkarak daha evrensel bir hal almaya başladığını ifade etmişlerdir.

Web Of Science (WOS) ve Scopus veri tabanlarında alan ve kaynak farkı gözetmeksizin taranan tüm araştırmalar çalışma kapsamına alına-

3 https://www.functionalresonance.com/

rak incelenmiştir. İncelemeye dili İngilizce olan çalışmalar dahil edilmiştir. Gelişen iş yapılarında ki değişiklikler ile eş zamanlı olarak kullanımı artmaya başlayan sistem tabanlı FRAM analiz metodunun ilişkin yapılan çalışmaların derlenerek alana yeni araştırmacı ve sahada uygulayıcılara yol gösterici olması ve FRAM çalışma alanlarının analiz edilerek gelecekte yapılacak çalışmalara ışık tutması amaçlanmaktadır.

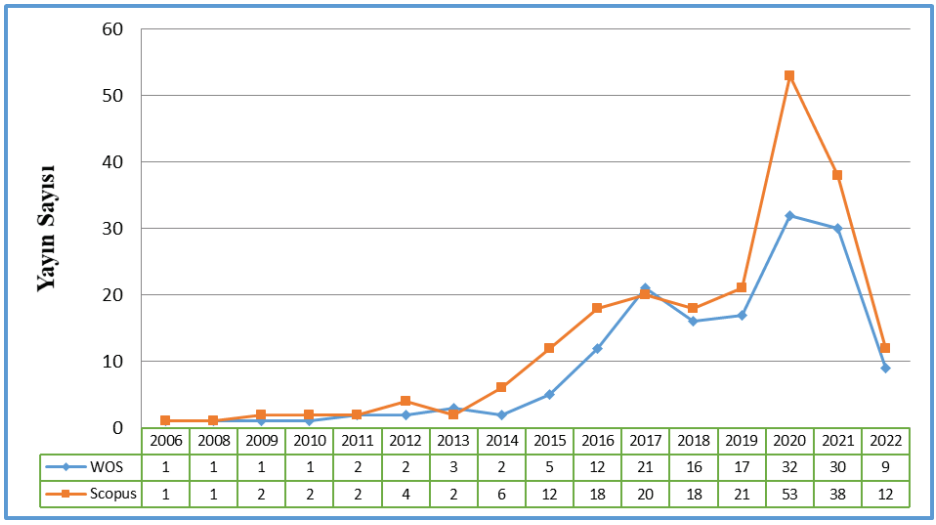
YÖNTEM

Web of Science ve Scopus veri tabanından "functional resonance analysis method "or" functional resonance accident model" arama kelimeleri kullanılarak Şubat 2022 ayı itibariyle tarama yapılmıştır. Yapılan aramada "FRAM" kısaltması diğer disiplinlerde de farklı ifadelerin kısaltması olarak kullanılması nedeniyle tasnif dışında tutulmuştur. Literatürde yapılan çalışmalardan istifade edilerek metoda yeni araştırmacıların bilgilendirilmesi maksadıyla FRAM' ın tanımlanması, dayandığı temel varsayım, analiz aşamaları anlatılmış ve araştırma sonuçlarından bazıları sonuçları ile birlikte derlenmiştir. Ayrıca derlenen çalışmaların elde ettiği sonuçlara göre FRAM' in güçlü ve zayıf yanları tespit edilmiştir. Veri tabanlarından araması sonucunda elde edilen bibliyometrik veriler indirilerek VOSviewer (*versiyon 1.6.18*) programı vasıtasıyla her iki veri tabanı ayrı ayrı anahtar kelime, yayınların yapıldığı dergiler ve yazarların yayın dağılımı ve atıf sayılarına göre incelemesi yapılmıştır. Anahtar kelime ve yazanların analizleri yapılırken programla birlikte gelen "terms ve authours thesaurus" ayıklama dosyaları kullanılarak ayıklama yapılmıştır. Anahtar kelimelerin en az 2 defa tekrar etmesi durumunda analize dahil edilmiştir.

BULGULAR

FRAM ile yapılan çalışmaların 2015 yılından itibaren (Şekil-2) hızlı bir şekilde yoğunlaştığı görülmektedir. Bunlardan WOS veri tabanında 155, scopus veri tabanında ise toplam 212 adet çalışma yapıldığı görülmüştür. WOS veri tabanından yapılan araştırmalar (Şekil-3) incelendiğinde FRAM çalışmalarının en fazla esneklik mühendisliği (*resilience engineering*) ile yakın ilişkili olduğu görülmektedir. Ayrıca FRAM çalışma-

larının risk değerlendirmesi, kompleks ve sosyoteknik sistemlerin analizinde sıklıkla kullanıldığı görülmektedir. Ayrıca 5'ten fazla karşılıklı olarak bir arda kullanılma durumuna göre değerlendirildiğinde "kaza analizi, STAMP, güvenlik yönetimi, komplekslik, kompleks sistemler, esneklik, esneklik mühendisliği, sosyoteknik sistemler, iş güvenliği-II (Safety-II), iş güvenliği (Safety) ve risk değerlendirmesi" anahtar kelimeleri ile birlikte kullanıldığı görülmüştür.



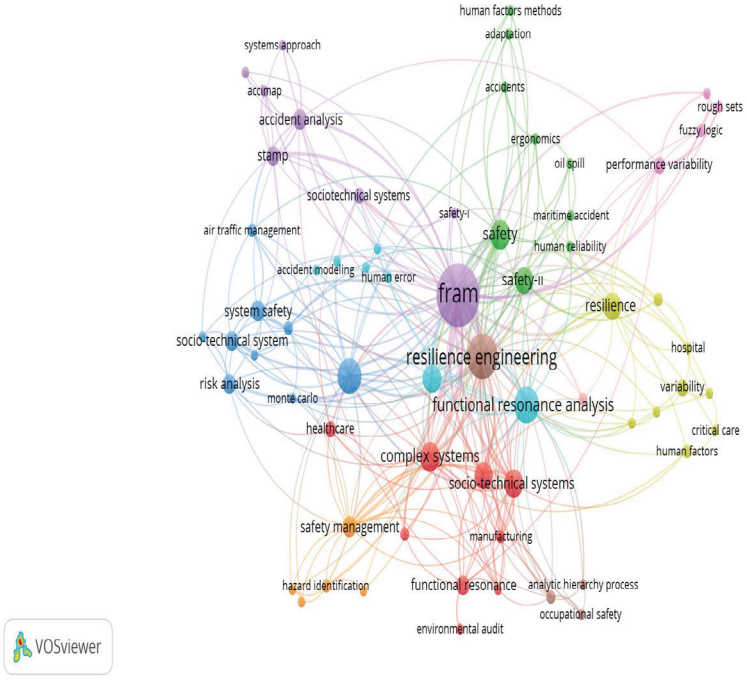
	2006	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020	2021	2022
WOS	1	1	1	1	2	2	3	2	5	12	21	16	17	32	30	9
Scopus	1	1	2	2	2	4	2	6	12	18	20	18	21	53	38	12

Şekil 2. FRAM Çalışmalarını Yıllara Göre Dağılımı

Bu veri tabanında en fazla atıf alan ve yayın yapılan dergiler ise safety science (yayın:21, atıf:354), reliability engineering and system safety (yayın:17, atıf:490), cognition technology and work (yayın:11, atıf:159) ve applied ergonomics (yayın:10, atıf:80) olarak sonuçlanmıştır. Ancak safety science ve cognition technology and work dergilerinin daha yakın ilişkili olduğu görülmüştür.

Scopus veri tabanında yapılan analizlerde (şekil-4) ilave olarak güvenlik yönetimi ve risk değerlendirmesi anahtar kelimelerinin görece daha uzak ilişkisi olduğu görülmüştür. Ayrıca yayın yapılan dergilere ve atıf sayılarına bakıldığında safety science (yayın:22, atıf:437), reliability engineering and system safety (yayın:17, atıf:572), cognition technology and work (yayın:10, atıf:189) ve applied ergonomics (yayın:10,

atıf:103) dergilerinin benzer ilişki seviyesinde en fazla aynı yayın ve atıf aldığı sonucuna ulaşılmıştır. Alanda yapılan çalışmaların yazarlara ve atfı sayılarına incelendiğinde ise en fazla yayının Riccardo Patriarca, Erik Hollnagel tarafından yapıldığı görülmektedir.



Şekil 3. WOS Veri Tabanın Analizleri

Ayrıca, literatürde yapılan bazı çalışmalar tablo-2'de derlenmiş olup yapılan çalışmalar neticesinde kompleks sosyoteknik sistemlerde FRAM' ın hem kaza analizi ve hem de risk değerlendirmede başarılı sonuçlar ortaya koyduğu görülmüştür. Ayrıca derlenen çalışmalarda elde edilen sonuçlara göre FRAM' ın güçlü ve zayıf yanları ise tablo-3' te olduğu gibi tespit edilmiştir. Bu kapsamda FRAM' ın karmaşık sistemleri açıklamakta başarılı sonuçlar elde etmesiyle birlikte zayıf yanlarının yapılan çalışmalar ile iyileştirilmeye çalışıldığı görülmüştür.

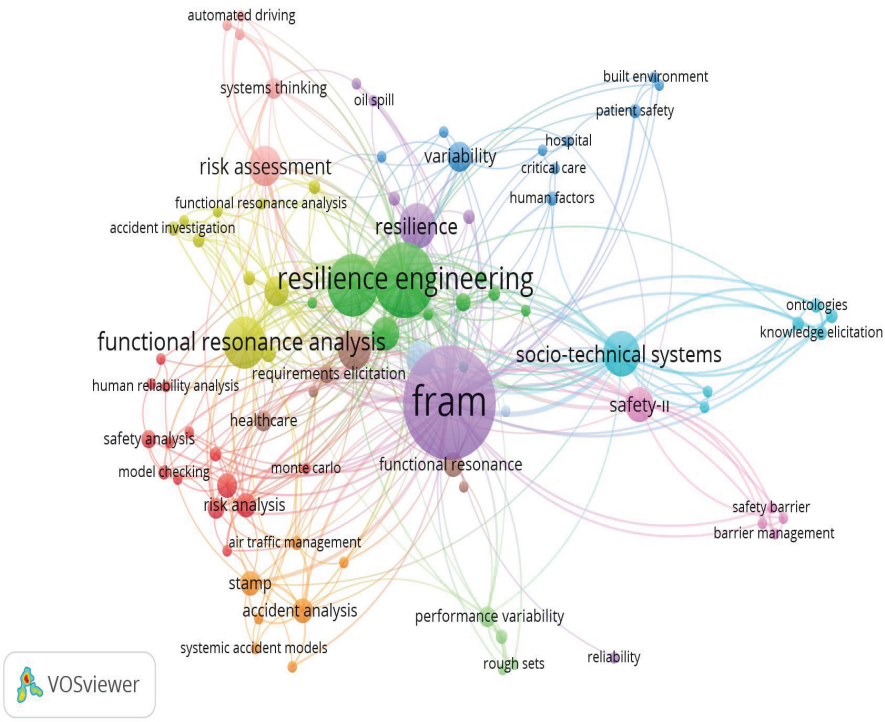
Tablo 2. Literatürde Yapılan Bazı Çalışma Örnekleri

Araştırmacı	Uygulanan Sektör	Araştırma Bulguları
Raben vd, 2018	Sağlık	Bir hastanede sepsis hastalığı erken teşhis sürecine yönelik FRAM analizi yapmışlardır. Sonucunda; daha önce göz ardı edilen etmenlerin kazaların oluşmasına sebebiyet verdiği tespit edilmiştir.
Kaya vd, 2019	Sağlık	Yeni doğan ünitesinde ilaç yönetiminde değişen koşullar altında sistem performansının nasıl etkilendiğini FRAM metodu kullanarak test etmişlerdir. Sonuç olarak, FRAM' in muhtemel performans değişikliğini anlamada oldukça başarılı sonuçlar ortaya koyduğunu tespit etmişlerdir.
Yang vd, 2017	Havacılık	FRAM tabanlı geliştirdikleri metot ile fonksiyon eşleşmeleri sonrasında "fonksiyonel rezonansın" nasıl meydana geliş süreci ve mekanizmasını anlamaya çalışmışlardır. Sonucunda; nasıl bir başarılı sistem tasarımı yapılabileceğini sistemin nasıl başarılı tasarım gelişimine ulaşacağını göstermiştir.
Patriarca vd, 2018	Sağlık	FRAM ile yapılan araştırmalara binaen daha etkin sonuçlar alınması maksadıyla yaptıkları çalışmada yarı nitel çok katmanlı VIM (Variability Impact Matrix) bilgi teknolojisi ve istatistiğe dayalı yöntem geliştirmişlerdir. Çalışma neticesinde sağlık sektöründe iş güvenliğini karar mekanizmasını destekleyici olduğu sonucuna ulaşmışlardır.
Slater vd, 2022	Salgın ile mücadele yönetimi	Britanya'da covid-19 tedbirlerine karşı alınan tedbirlerin FRAM metodu ile analiz edilmesinde kullanılmıştır. Sonucunda ise sistem tasarımcılarına önemli oranda destek sağlayacağını bulmuşlardır.

Patriarca vd, 2017	Havacılık	Kompleks sistemlerdeki kritik fonksiyonların tanımlanması FRAM ve Monte Carlo simülasyonunu birlikte kullanmışlardır. Geliştirilen yöntem ile hangi fonksiyonun daha fazla değişkenliğe sahip olduğunu tespit edebilmişlerdir.
Carvalho 2011	Havacılık	"Normal değişkenlik şartlarında" orta irtifada meydan gelen uçak kazlarının FRAM metodu ile analiz edilmiştir. Sonucunda ise sistem işleyişinin derinlemesine anlaşılması ile kazaların önlenebileceği sonucuna varılmıştır.
Salehi vd, 2022	Sağlık	FRAM ile pekiştirilmiş öğrenme yönteminin birlikte kullanılarak sistem fonksiyonlarının daha iyi anlaşılması ve yeterli veri bulmanın zor olduğu kompleks sistemlerde işlevselliği araştırmanın etkili olacağı savunulmuştur. Sonucunda; sistemi olumsuz etkileyebilecek potansiyel rotların tespit edilebildiği ve farklı yönetim yapılarında sistem performansının değerlendirilebildiği sonucuna ulaşılmıştır.
Bal Beşikçi ve Şıhmantepe 2020	Denizcilik	Geçmişte meydana gelen gemi kazasının FRAM metodu ile analizi yapılmıştır. Sonucunda; kaza nedenlerinin line/doğrusal olmadığı, durumsal farkındalığın kaza önlemede önemli rol üstlendiğini sonucuna varmışlardır.
Lee ve Chung 2018	Denizcilik	Fonksiyonlar arasında ki etkileşimin dinamik olması nedeniyle detaylandırılabilmesi ve bu etkileşimlerinin performans değişimine etkilerini belirlemek maksadıyla FRAM temelli insan-sistem etkileşimi yöntemiyle yeni kaza analiz metodu sunmuşlardır. Sonucunda; sistem ve insan etkileşiminden kaynaklı değişkenlikleri analiz edebildiği ve kakar mekanizmasının destekleyici kritik bölümleri önerdiği sonucunda varılmıştır.

Tablo 3. FRAM' in Güçlü ve Zayıf Yanları

Güçlü Yanları	Zayıf/Tartışılan Yanları
Kompleks sosyoteknik sistemleri açıklamada başarılı olduğu, Nitel ve daha keskin sonuçlar verdiği (Naeini ve Nadeau 2022), Günlük yaşama uygulanabilirliğinin yüksek ve uygulayıcılara detaylı tavsiyelerde bulunabildiği (Farooqi vd, 2022), Gün geçtikçe yetersiz kaldığı farklı sistem fonksiyonlarının sistem performansına etkisini açıklamak gibi hususların giderilmeye başlaması ile karar vericilere sağladığı katkı ile sistem performansını artırabildiği (Salehi vd, 2022), Analistin tüm sistemi aynı anda görerek sistemin sürekli kendini mevcut durumlara karşı adapte ettiği olayları kavramasını sağladığı (Hollnagel 2012), Birden fazla etkenin ve "yumuşak" faktörlerin var olduğu bir sistemin analizinde başarılı sonuçlar elde ettiği ve sistem başarılarından sürekli öğrenmeyi sağladığı (Smith vd, 2017), Performans değişikliklerini görebilmesi nedeniyle uygulayıcılara inisiyatif almada katkı sağladığı ve eğitim aşamasında da katkı sağlayabileceği (Kaya vd, 2019) .	Belirli şartlar altında fonksiyonların nasıl eşleşeceğini ve hangi sıra dahilinde olacağını göstermediği (Ham, 2021), Fonksiyon değişkenlerini tespit etmek zaman alıcı olduğu (Patriarca vd, 2018), Farklı fonksiyon rotalarının sistem performansı üzerine etkilerini kıyaslamada yetersiz kaldığı (Salehi vd, 2022), Bazı klasik yöntemlere göre daha fazla bilgiye ihtiyaç duyduğu (Smith vd, 2017),



Şekil 4. Scopus Veri Tabanı Analizleri

SONUÇ

Kompleks sosyoteknik sistemlerin sistemlerin giderek daha fazla yaygınlaşması ve bu sistemlerde iş güvenliğinin sağlanabilmesi maksadıyla kullanılan geleneksel kaza analiz ve risk değerlendirme metot ve modellerinin yetersiz kalması ile sistem tabanlı FRAM metodunun giderek yaygınlaşmaya başladığı görülmüştür. Bu çerçevede yapılan literatür derlemesinde;

- FRAM' sosyoteknik sistemlerde kaza ve risk değerlendirme metodu olarak kullanıldığı,
- Günümüz kompleks ve sosyoteknik sistemleri açıklamakta başarılı sonuçlar verdiği,

- Analizcilere sistem değişkenlerini göstererek daha doğru analiz yapmalarını sağladığı,
- Sistem fonksiyonlarını modelleyerek görselleştirdiği ve sistemin bir bütün olarak ele alınmasını sağladığı,
- Genel itibariyle esneklik mühendisliği ve sosyoteknik sistem, kompleks gibi anahtar kelimeler ile birlikte kullanıldığı,
- Kullanımının son yılarda hızlı bir artış içerisinde olduğu ve uygulandığı sektörlerin çeşitlendiği,
- Yapılan bilimsel araştırmaların belirli akademik dergilerde ve araştırmacılarda yoğunlaştığı,
- FRAM modeli ve yorumlaması için geliştirilmiş proglamlar bulunduğu ve
- Metodun gelecekte gelişerek artan bir oranda kullanılacağı,

sonuçlarına ulaşılmıştır.

Ayrıca, bir sosyo teknik sisteme ait fonksiyonların bir biri ile nasıl etkiledikleri görselleştirmesinin sağlanması nedeniyle daha başarılı iş güvenliği analizlerinin yapılabileceği değerlnedirilmektdir. İş ortamlarında performans değişiklikleri nedeniyle meydana gelen sapmaların daha doğru tespit edilmesi sağlanabilecektir. Bu kapsamda günümüz iş ortamlarının ve iş şekillerinin daha etkin olarak değerlendirilmesini sağlayacağı değerlendirilmektedir.

KAYNAKÇA

Bal Beşikçi, Elif; Şıhmantepe, Aydın (2020): Deniz Kazalarının Çözümlenmesine Güncel Bir Bakış: FRAM Yöntemi ile Analiz Örneği. *Dokuz Eylül Üniversitesi Denizcilik Fakültesi Dergisi* 12 (Özel Sayı), 69–90. DOI: 10.18613/deudfd.740159.

Carvalho, Paulo Victor Rodrigues de (2011): The Use of Functional Resonance Analysis Method (FRAM) In A Mid-Air Collision To Understand Some Characteristics Of The Air Traffic Management System Resilience. *Reliability Engineering & System Safety* 96 (11), 1482–1498. DOI: 10.1016/j.ress.2011.05.009.

Farooqi, A.; Ryan, B.; Cobb, S. (2022): Using Expert Perspectives To Explore Factors Affecting Choice Of Methods In Safety Analysis. *Safety Science* 146 (1-14). DOI: 10.1016/j.ssci.2021.105571.

Fu, Gui; Xie, Xuecai; Jia, Qingsong; Li, Zonghan; Chen, Ping; Ge, Ying (2020): The Development History Of Accident Causation Models In The Past

100 Years: 24 model, A More Modern Accident Causation Model. *Process Safety and Environmental Protection,*134. https://doi.org/10.1016/j.psep.2019.11.027

Grant, Eryn; Salmon, Paul M.; Stevens, Nicholas J.; Goode, Natassia; Read, Gemma J. (2018): Back to the future: What Do Accident Causation Models Tell Us About Accident Prediction? *Safety Science* 104, p 99–109. DOI: 10.1016/j.ssci.2017.12.018.

Ham, Dong-Han (2021): Safety-II and Resilience Engineering in a Nutshell: An Introductory Guide to Their Concepts and Methods. *Safety And Health At Work* 12 (1), p 10–19. DOI: 10.1016/j.shaw.2020.11.004.

Hollnagel, Erik (2012): FRAM: *The Functional Resonance Analysis Method. Modelling Complex Socio-Technical Systems.* Farnham, Surrey, UK England, Burlington, VT: Ashgate.

Hollnagel, Erik; Goteman, Örjan (2004): The Functional Resonance Accident Model. *Proceeding Of The Cognitive Systems Engineering In Process Control.* Sendai, Japonya, 4-5 Kasım 2004: Tohoku University.

Kaya, Gulsum Kubra; Ovali, Husnu Fahri; Ozturk, Fatih (2019): Using The Functional Resonance Analysis Method On The Drug Administration Process To Assess Performance Variability. *Safety Science* 118, 835–840. DOI: 10.1016/j.ssci.2019.06.020.

Lee, Joohee; Chung, Hyun (2018): A New Methodology For Accident Analysis With Human And System Interaction Based On FRAM: Case Studies In Maritime Domain. *Safety Science* 109, 57–66. DOI: 10.1016/j.ssci.2018.05.011.

Mofidi Naeini, Alimeh; Nadeau, Sylvie (2021): FRAM and STAMP: New Avenue for Risk Analysis in Manufacturing in the Era of Industry 4.0. In : Frühjahrskongress der Gesellschaft für Arbeitswissenschaft. Kongress der Gesellschaft für Arbeitswissenschaft. Bochum, Germany, 03-05.03.2021. 67 volumes.

Naeini, Alimeh Mofidi; Nadeau, Sylvie (2022): Application of FRAM to Perform Risk Analysis of the Introduction of a Data Glove to Assembly Tasks. *Robotics and Computer-Integrated Manufacturing* 74, 1-15. DOI: 10.1016/j.rcim.2021.102285.

Patriarca, Riccardo; Di Gravio, Giulio; Costantino, Francesco (2017): A Monte Carlo Evolution of the Functional Resonance Analysis Method (FRAM) to Assess Performance Variability in Complex Systems. *Safety Science* 91, 49–60. DOI: 10.1016/j.ssci.2016.07.016.

Patriarca, Riccardo; Falegnami, Andrea; Costantino, Francesco; Bilotta, Federico (2018): Resilience Engineering For Socio-Technical Risk Analysis: Application In Neuro-Surgery. *Reliability Engineering & System Safety* 180, 321–335. DOI: 10.1016/j.ress.2018.08.001.

Qureshi, Zahid H. (2007): Systemic Safety And Accident Modelling Of Complex Socio-Technical Systems. Tony Cant (Ed.): P*roceedings of the twelfth Australian workshop on Safety critical systems and software and safety-related programmable systems* - Volume 86, vol. 86. Australia: Australian Computer Society Inc (ACM Digital Library), 47–59. https://dl.acm.org/doi/proceedings/10.5555/1387040 .

R. Patriarca; G. Di Gravio; R. Woltjer; F. Costantino; G. Praetorius; Ferreira; E. Hollnagel (2020): Framing the FRAM:A Literature Review On The Functional Resonance Analysis Method. *Safety Science,* 129. DOI: 10.1016/j.ssci.2020.104827.

Raben, Ditte Caroline; Viskum, Birgit; Mikkelsen, Kim L.; Hounsgaard, Jeanette; Bogh, Søren Bie; Hollnagel, Erik (2018): Application Of A Non-Linear Model To Understand Healthcare Processes: Using The Functional Resonance Analysis Method On A Case Study Of The Early Detection Of Sepsis. *Reliability Engineering & System Safety* 177, 1–11. DOI: 10.1016/j.ress.2018.04.023.

Salehi, V.; Tran, T. T.; Veitch, B.; Smith, D. (2022): A Reinforcement Learning Development Of The FRAM For Functional Reward-Based Assessments Of Complex Systems Performance. *International Journal of Industrial Ergonomics* 88. DOI: 10.1016/j.ergon.2022.103271.

Slater, David; Hollnagel, Erik; MacKinnon, Ralph; Sujan, Mark; Carson-Stevens, Andrew; Ross, Alistair; Bowie, Paul (2022): A Systems Analysis Of The COVID-19 Pandemic Response In The United Kingdom - Part 1 - The Overall Context. *Safety Science* 146. DOI: 10.1016/j.ssci.2021.105525.

Smith, Doug; Veitch, Brian; Khan, Faisal; Taylor, Rocky (2017): Understanding Industrial Safety: Comparing Fault tree, Bayesian network, and FRAM approaches. *Journal of Loss Prevention in the Process Industries* 45, 88–101. DOI: 10.1016/j.jl2016.11.016.

Yang, Qibo; Tian, Jin; Zhao, Tingdi (2017): Safety is An Emergent Property: Illustrating Functional Resonance In Air Traffic Management With Formal Verification. *Safety Science* 93, p 162–177. DOI: 10.1016/j.ssci.2016.12.006.

İNTERNET KAYNAKLARI

FRAM (2022): FRAM- The Functional Resonance Analysis Method for Modelling Non-Trivial Socio-Technical Systems. https://www.functionalresonance.com/, (ET: 2.11.2022)