

Ulusal Endüstriyel Kazalar Etki Alanı Modellemesi Yazılımı (AFAD-EKA)

Mehmet Fatih Şen¹, Betül Kurada², Evren Tanrıverdi³

Öz

Endüstriyel kazaların olası yangın, patlama ve toksik yayılım alanlarını hesaplayabilmek için literatür bize bir takım kantitatif kaza modelleri sunmaktadır. Bu kaza modellerini temel alan ve kullanıcıya kolaylık sağlayan hâlihazırda uluslararası alanda kabul görmüş bir takım yazılımlar da mevcut bulunmaktadır. Bu uluslararası yazılımlar kullandıkları farklı modellerden ötürü birbirinden farklı sonuç verebilmekte, ortak bir dil sağlanamamasının yanı sıra büyük oranda ticari olduğu için kullanıcılara maddi bir külfet de getirmektedir. Ulusal anlamda bu alanda dışa bağımlılığa son vermek ve karar vericiler/idareciler/işletmeciler/mühendislerin ortak dili konuşmasını sağlamak adına Afet ve Acil Durum Yönetimi Başkanlığı tarafından "Ulusal Endüstriyel Kazalar Etki Alanı Modellemesi Yazılımı (AFAD-EKA)" geliştirilmiştir. Bu makalenin amacı, AFAD-EKA yazılımının özellikleri ve kabiliyetlerinin aktarımı ile yaygınlaştırılmasına katkı sağlanmasıdır.

Windows tabanlı kullanıcı dostu arayüze sahip AFAD-EKA, endüstriyel kazaların gaz, sıvı ve sıvılaştırılmış gaz fazlarında salınım, patlama, yangın, atmosfer yayılım senaryoları üzerinden yirmi ayrı model ile modellenmesine ve olası fiziksel etki ve sonuçları belirlenmesine imkân sağlamaktadır.

Anahtar Kelimeler: Endüstriyel Kaza, Endüstriyel Kaza Riski, Endüstriyel Kaza Yazılımı, Teknolojik Afet

National Software of Industrial Accidents Impact Area Modelling (AFAD-EKA)

Abstract

In order to calculate possible fire, explosion and toxic dispersion areas by industrial accidents, the literature gives us some quantitative accident models. There are already a number of internationally accepted softwares that are based on these accident models and provides convenience to the user. These international softwares may give different results due to used different models they use, and besides the inability being able to provide a common language, they also brings a financial burden to the users because they are mostly commercial. "National Industrial Accidents Impact Area Modeling Software (AFAD-EKA)" was developed by the Disaster and Emergency Management Presidency in order to end foreign dependency in this area and to ensure that decision makers/managers/operators/engineers speak the common language. The purpose of this article is to contribute to the dissemination of the AFAD-EKA software by transferring its features and capabilities.

¹ AFAD Uzmanı, Çevre Y. Mühendisi, AFAD Başkanlığı, Ankara, Türkiye

İlgili yazar e-posta / Corresponding author e-mail: fatih.sen@afad.gov.tr ORCID No: 0000-0002-4777-3938

² AFAD Uzmanı, Çevre Y. Mühendisi, AFAD Başkanlığı, Ankara, Türkiye

e-posta: betul.kurada@afad.gov.tr ORCID No: 0009-0006-9408-1383

³ Dr, Hidrojeoloji Mühendisi, AFAD Başkanlığı, Ankara, Türkiye

e-posta: evren.tanriverdi@afad.gov.tr ORCID No: 0009-0009-9525-3572

Bu makaleye atıf yapmak için / To cite this article

Şen, M. F., Kurada, B. ve Tanrıverdi, E., (2023). Ulusal Endüstriyel Kazalar Etki Alanı Modellemesi Yazılımı (AFAD-EKA). *Afet ve Risk Dergisi*, 6(3), 677-690.

AFAD-EKA, with its windows-based user-friendly interface, enables the modeling of industrial accidents in gas, liquid and liquefied gas phases, with scenarios of release, explosion, fire and atmospheric dispersion with twenty different models and determining the possible physical effects and consequences.

Keywords: Industrial Accident, Industrial Accident Risk, Industrial Accident Software, Technological Disaster

1. GİRİŞ

Teknolojik afetler, insan faaliyetleri ya da doğa kaynaklı afetlerin tetikleme sonucu oluşan endüstriyel, maden, nükleer ve ulaşım kazaları, kritik yapılara yönelik tehditler, siber tehlikeler, büyük yangınlar, terörizm (kimyasal, biyolojik, radyolojik, nükleer tehditler) ile çevresel tehlikeler gibi can kaybına, hastalıklara, sosyal, ekonomik ve çevresel bozulmalara neden olan afet ya da acil durumlardır (URL 1, 2023).

Son yıllarda teknolojinin gelişmesi, hızlı nüfus artışı, kontrolsüz ve çarpık kentleşmeye bağlı olarak teknolojik afetlerin sayısı ve sıklığı dünya genelinde artış göstermektedir. Uluslar Arası Afet ve Acil Durumlar Veritabanı (EM-DAT) bilgilerine göre 2000-2021 yılları arasında 5390 teknolojik afet rapor edilmiştir ve raporlanan tüm afetlerin %41'ini teknolojik afetler oluşturmaktadır. Rapora göre; bu zaman diliminde teknolojik afetler 2.638.985 kişiyi etkilemiş, 63,178 milyon dolar değerinde de zarara neden olmuştur (CRED, 2022).

Teknolojik afetler içerisinde endüstriyel kazalar, etkiledikleri alan ve sonuçlarının büyüklüğü sebebiyle dikkat çekmektedir. Endüstriyel kaza riskleri, kimyasalın durumuna, nedenine ve sonuçlarına bağlı olarak 3 başlıkta sınıflandırılır (Hoşcan, 2019).

- Yanıcı maddenin bir ısı kaynağı ya da alev vasıtasıyla tutuşmasından kaynaklı ortaya çıkan yangın
- Ani gaz salımı ile hava ve yanıcı madde karışımından kaynaklanan patlama
- Toksik maddelerin hava, su ve toprak ortamına yayılımı

Endüstriyel kazalar; hatalı kullanım, depolama, taşıma ve proses hataları, doğa kaynaklı afetler, yangın, sabotaj gibi durumlar sonucu meydana gelmekte olup, esasen iyi bir planlama ve hazırlık ile önlenemez ya da olumsuz etkileri indirgenemez olaylardır (Şen vd., 2022). Bunun da önemli aşaması bir proses ve/veya endüstriyel tesislerde olası kaza sonuçlarının (yangın, patlama ve toksik yayılım) kantitatif yöntemlerle analiz edilmesidir.

Hızlı endüstrileşen dünyamızda insanlığın kimyasal maddelerle etkileşimi, günümüzde tarih boyunca olmadığı kadar artmıştır. Kimyasal maddeler, ticari ürün olarak evlerimize, işyerlerimize ve hâsıl tüm hayatımıza daha çok girmektedir. Bu ürünlerin üretildiği pek çok sektörde çeşitli tehlikeli kimyasal maddeler değişen miktarlarda elleçlenmekte ve depolanmaktadır. Kimyasal maddeler, doğası gereği içsel bir tehlike içermektedir. İnsanlığın, içsel tehlikeye sahip bu kimyasal maddelerle etkileşimi ve bu içsel tehlikeye savunmasız kalarak zarar görebilirliğinin arttığı noktada ise riskler hiç olmadığı kadar artmaktadır. İnsanlığın karşı karşıya kaldığı bu riskleri önceden tahmin ederek zarar görebilirliği ve riskleri azaltabilmesi için gerekli planlamaları yapması gerekmektedir. Kimyasal maddelerin elleçlendiği ve/veya depolandığı endüstriyel kuruluşlardan kaynaklanacak olası yangın, patlama ve toksik yayılım alanlarını kantitatif olarak hesaplamak bu çabalardan biridir.

Bir endüstriyel kazanın olası sonuçları; kazanın öznesi olan kimyasal maddenin cinsi ve miktarı, olay ve ortamın fiziksel koşullarına göre farklı davranan yangın, patlama ve dağılım modelleri kullanarak mesafe ve zamana bağlı olarak nicel olarak tahmin edilebilmektedir. Buna yönelik karmaşık model ve yöntemler içeren çeşitli yazılımlar (Hollanda menşeli TNO EFFECTS yazılımı,

Norveç menşeli PHAST yazılımı, ABD menşeli ALOHA yazılımı, AB menşeli ADAM yazılımı vb.) üretilmektedir. Ülkemiz için bu alanda ilk ulusal yazılım olan AFAD-EKA, Afet ve Acil Durum Yönetimi Başkanlığı tarafından geliştirilmiştir. Yazılım içerdiği kimyasal madde veri tabanında bulunan altı yüzden fazla kimyasal maddenin gaz, sıvı ve sıvılaştırılmış gaz fazlarında modellenmesine imkân sağlamakta ve böylece endüstriyel kazaların olası fiziksel etki ve sonuçları hesaplanabilmektedir. TNO Effects, Phast, Aloha, Adam yazılımlarında olduğu gibi AFAD-EKA da içerdiği kaza modellerine ve bu modellerin varsayımlarına göre olası sonuçlar ve etki alanlarının tahminlerini nicel olarak kullanıcıya sunmaktadır. Bu haliyle kullanıcı, yazılımda kullandığı model ve yazılıma girdiği verilerin gerçek duruma yakınlığı ile orantılı olarak doğruya yakın sonuçlara ulaşabilmektedir. Kaza modelleri uzun yıllara varan inceleme, araştırma ve deneysel çalışmalar neticesinde geliştirilmiş ürünler olup, her zaman gelişime ve ilerlemeye açık bir alandır fakat farklı bir araştırma konusudur.

2. ENDÜSTRİYEL KAZALAR

Bir endüstriyel kaza yangın/patlama/toksik yayılım fenomenlerinden en az birini içermekte ve sonuç olarak ise insan hayatı, malı ve çevreyi etkileyebilmektedir. İnsan hayatı ile ilgili sonuçlar fiziksel ölüm ve yaralanmalar, mala ilişkin sonuçlar yapıların yıkımına varan hasarı içerir. Çevresel sonuçlar ise kaza sonucu tehlikeli maddelerin hava, toprak ve su ortamına karışıp bunları kontamine etmesi ile ilişkilidir.

Bir endüstriyel kazanın etkisi, ilgili tehlikeli maddeye, salınan tehlikeli maddelerin miktarına, ilgili tehlikeli maddenin kimyasal ve fiziksel koşullarına (gaz, sıvı, katı, sıcaklık, basınç vb.), kullanılan ekipmana (kap, boru, valf vb.), içerilen operasyona (depolama, taşıma, kimyasal reaksiyon vb.) ve civardaki alıcıların varlığına ve maruziyetine bağlıdır (El Harbawi vd., 2008; Uijt de Haag ve Ale, 2005).

1976'da İtalya Seveso'da, bir kimyasal tesisten kazaen 2, 3, 7, 8-tetraklorodibenzo-p-dioksin'in (TCDD) atmosfere salınması ile yüzlerce insan klorakneye maruz kalmış, 3.300 hayvan ölmüş ve TCDD'nin besin zincirine girmesini engellemek için 80.000 hayvan öldürülmüştür (Homburger vd., 1979). 1984 senesinde Hindistan Bhopal'de Union Carbide isimli pestisit tesisine metilzitosiyanat (MIC) sızıntısı sebebiyle en az 3.787 insan ölmüş ve 558.125'den daha fazla insan sağlık problemlerinden acı çekmiştir. 2003 senesinde Çin'in Chongqing şehrinde doğalgaz patlaması sonrasında meydana gelen hidrojen sülfür sızıntısı ile 243 insan ölmüş ve 27.000'den fazla insan zehirlenmiştir. 2005 senesinde Çin'in Jiangsu şehrinde kaza sonucu bir tankerden klor sızıntısı neticesinde 29 insan ölmüş ve 436 insan yaralanmıştır. 10.000 kişi de bölgeden tahliye edilmiştir (Liu vd., 2018). 27 Eylül 2012 Güney Kore Gumi şehrinde meydana gelen bir kazada Hube Global kimya tesisinden yaklaşık sekiz ton yüksek derecede toksik hidrojen florür gazı açığa çıkmıştır. Sızıntı yüzünden 5 işçi hayatını kaybetmiş ve en az 18 kişi yaralanmıştır. Gaz, bitişikteki yerleşim alanına sıçramış ve 3.200 kişi mide bulantısı, göğüs ağrısı, kızarıklık ağrıyan gözlerden muzdarip olmuştur. Sızıntı ayrıca ekinlere ve hayvancılığa da zarar vermiştir (Truong vd., 2016).

Günümüze değin ülkemizde de birçok büyük endüstriyel kaza yaşanmış olup, bu kazalardan en bilinenleri (URL 2, 2023; URL 3; 2023):

- 1997 yılında Kırıkkale MKE Mühimmat fabrikasında patlama sonucu 2 kişi ölmüş, 10 kişi yaralanmıştır. Halk korku ve panikle şehri terk etmiştir.
- 1999 Marmara Depremi sonrası TÜPRAŞ'da çıkan yangının LPG depolarına sıçrama ihtimaline karşı TÜPRAŞ çevresinde 5 kmlik bir alan boşaltılmıştır.
- 2002 yılında Kocaeli'de Akçagaz LPG dolmuş tesisindeki 100'er tonluk 9 LPG tankının patlaması ve yangın sonucu birçok yerleşim yeri tahliye edilmiştir.

- 2008 yılında İstanbul Davutpaşa'da havai fişek atölyesinde patlama, 21 can kaybı ile sonuçlanmıştır.
- 2011 yılında Ankara Ostim'de CNG tüplerinde patlama ve toksik salınım, sonucu 20 can kaybı ve çok sayıda yaralı ile sonuçlanmıştır.
- 2020 yılında Sakarya Hendek'te havai fişek fabrikasında patlama sonucu, 7 can kaybı, 127 yaralı ve büyük maddi hasar yaşanmıştır.

Açıkçası bu tip kazalar büyük çevresel, toplumsal ve ekonomik kayıp ve hasarlara sebebiyet vermektedir. Bu tipteki kazalar sonucu oluşabilecek olası toplumsal ve çevresel riskleri bilmek ve bu riskleri azaltıcı uygulamaları ve bunun yanında senaryo çalışmalarına göre uygun müdahale araç ve yöntemlerini önceden belirlemek önemlidir.

3. ENDÜSTRİYEL KAZA RİSKLERİNİN BELİRLENMESİ

Endüstriyel tesislerde tasarım koşullarının dışına çıkılması, insan hatası, korozyon, doğa kaynaklı afetler gibi sebeplerle üretim bandı ve depolarda bütünlük kaybı olabilir ve zehirli/tehlikeli kimyasallar ortama yayılabilir. Ortama yayılan bu kimyasal maddelerle etkileşim, zarar görülebilirlik ve maruziyetin boyutuna göre bir risk oluşturmaktadır.

Riskler, tamamen ortadan kaldırılamaz fakat doğasını ve kapsamını anlayarak uygun stratejilerinin geliştirilmesi ve uygun yönetim koşulları ile azaltılabilir. Bu kapsamda karşı karşıya olduğumuz riski bilmek açısından literatür, bize matematiksel modeller de içeren çeşitli metodolojiler sunmaktadır.

Endüstriyel kaza risk analiz metodolojileri, potansiyel kazaların sıklığı ile etki ve sonuçlarının büyüklüğünün tahminlerini verir. Her ne kadar endüstriyel alanları çevreleyen topluluklar için risk değerlendirme çalışmaları, Hollanda, İtalya ve Birleşik Krallıkta 1970'lerin başında başlamış olsa da, tehlikeli tesislerin etrafında arazi kullanımının kısıtlanması uygulaması Bhopal kazasına kadar etkili bir önlem olarak geniş çaplı kabul görmemiştir. Sonuç olarak, Seveso Direktifinin 12. Maddesi 1996'da revize edilen haliyle, arazi kullanım planları kararlarının, tehlikeli alanlar ve konut alanlarında uygun mesafeleri korumak için yönlendirilmesi gerektiğini söylemektedir. Bu Direktifin yürürlüğe girmesinden sonra, Avrupa ülkeleri çoklu risk değerlendirme yöntemleri geliştirmiştir (Guan vd., 2022).

Avrupa ülkelerinde uygulanan üç temel risk değerlendirme yaklaşımı bulunmaktadır. Bu yaklaşımlar;

- 1- Sabit Mesafe Yaklaşımı
- 2- Sonuç Temelli (Deterministik) Yaklaşım
- 3- Risk Temelli (Probabilistik) Yaklaşım

Sabit mesafe yaklaşımında geçmiş kaza tecrübelerine dayanarak koruma mesafeleri geniş tutulmaktadır. Sonuç temelli yaklaşım, kazaların olasılığını hesaba katmadan sonuçlarının değerlendirilmesine dayalıdır. Sonuç temelli yaklaşımda olası endüstriyel kaza etki alanları, ticari yazılımlar (Hollanda menşeli Effects yazılımı, Norveç menşeli Phast yazılımı, ABD menşeli Aloha yazılımı, AB menşeli Adam yazılımı vb.) ile kazaların frekansını dikkate almadan hesaplanır. Risk odaklı yaklaşım ise kazaların sonuçları ile birlikte olasılığını da dikkate almaktadır. Risk odaklı yaklaşımlar, riski kazaların olası sonuçları ve bu kazaların olasılığının bileşkesi olarak tanımlamaktadır. Risk temelli yaklaşımda sonuçlar, bireysel risk ve/veya sosyal risk olarak tanımlanmaktadır. Bireysel risk konturler, sosyal risk ise F (kümülatif frekans)-N (ölüm sayıları) eğrileri ile açıklanmaktadır (Sebos vd., 2010). Bu yaklaşımda prosesler hata ağacı, olay ağacı, papyon modeli gibi metotlarla meşakkatli sayısal analizler gerektirdiği için çok fazla zaman ve

insan gücü gerektirmektedir. Sebos vd. (2010), AB ülkelerindeki bazı ülke uygulamalarını incelemiş olup, bunlar aşağıda verilmektedir:

Sonuç temelli yaklaşımı esas alan AB ülkeleri: Avusturya, Belçika, Finlandiya, Lüksemburg; Sabit mesafe yaklaşımını esas alan AB ülkeleri: Almanya, İsveç; Risk odaklı yaklaşımı esas alan AB ülkeleri: Birleşik Krallık, Hollanda; Risk odaklı ve sonuç odaklı yaklaşımları birlikte kullanan AB ülkeleri: Fransa, İtalya.

Her üç yaklaşımın da birbirlerine nazaran artı ve eksileri bulunmaktadır:

Sabit mesafe yaklaşımında etki alanı mesafeleri güvenli tarafta kalmak için geniş tutulmaktadır. Bu yaklaşımı esas alan Almanya, üretimde son teknolojinin kullanılması prensibini mevzuat zorunluluğu olarak uygulamaktadır. Almanya tarafından uygulanan sabit mesafe yaklaşımının temel tercih sebebinin ülke genelinde uygulanan hâlihazırda “son teknolojinin kullanılması zorunluluğunun” oluşturduğu kabul edilmektedir. Zira, son teknolojinin kullanılma zorunluluğunun olduğu bir sanayi modelinde, ilave bir kantitatif risk analizine ihtiyaç duyulmayacağı kabul edilmektedir (Öcalan, 2022). Sonuç temelli yaklaşım, risk temelli yaklaşımlara nazaran daha az maliyet ve zaman gerektirmektedir. Fakat en kötü durum senaryosu dikkate alınarak modelleme yapıldığı için etki alanı geniş bir ölçekte belirlenmekte, bu da gereğinden fazla yerin atıl kalması ya da tahliye alanı olarak belirlenmesi sonucunu ortaya çıkarmaktadır. Risk temelli yaklaşım, kazaların olasılığını da dikkate alan en kapsamlı yaklaşımdır. Bununla birlikte çok fazla zaman ve alanında uzman bilgisine sahip insan gücü gerektirmekte ve daha karmaşık ve maliyetlidir. Düşük olma olasılığına sahip fakat etkileri yüksek olaylar için ise bir belirsizlik bulunmaktadır (Öcalan, 2022).

4. ENDÜSTRİYEL KAZA ETKİ ALANI MODELLEME YAZILIMLARI

Bir endüstriyel kuruluştan sızan bir kimyasal madde, fizikokimyasal özellikleri, proses ve depolama koşulları ve atmosferik şartlara bağlı olarak dış ortama yayılarak çevreyle etkileşime girmektedir. Kimyasal maddenin yayılma hareketini tahmin etmek için çeşitli matematiksel kaza modelleri kullanılmaktadır.

Bu kaza modellemeleri temelde iki ana soruyu yanıtlamaya çalışır (Al-shanini vd., 2014):

- Kaza neden meydana gelir?
- Kaza nasıl meydana gelir?

Literatürde mevcut olan kaza modellemelerini içeren ve kullanıcıya kolaylık sağlayan çeşitli sonuç temelli yaklaşımı esas alan yazılımlar mevcuttur. Bunlardan bazıları Aloha, Phast, TNO Effects, Fred, Safeti, Whazan, Hazdig ve Breeze yazılımlarıdır.

Aloha yazılımı, daha çok kimyasal kazalara müdahale edecek insanların kullanımı için tasarlanmıştır. Aloha (<http://response.restoration.noaa.gov/aloha>) yazılımı ABD Ulusal Okyanus ve Atmosfer Dairesi (NOAA) ve Çevre Koruma Ajansı (EPA) tarafından ortak geliştirilmiş açık kaynak bir yazılımdır. Aloha, saf kimyasalların ve bazı genel kimyasal çözeltilerin fiziksel, kimyasal ve toksikolojik özelliklerini içermektedir (Liu vd.,2018).

Proses tehlike analiz yazılımı Phast, yangın, patlama ve dağılım kazaları için tasarlanmıştır. Shell Company tarafından üretilen yangın, patlama ve dağılım yazılımı Fred, yüksek basınçlı kap arızasından kaynaklanan patlama dalgaları, iki fazlı boru hatlarının blöfü ve deniz altı gaz salınımları gibi bazı etkileri hesaplamak için kullanılmaktadır. Technica tarafından endüstriyel tesislerdeki kimyasal proseslerin risk değerlendirmesi için Safeti yazılımı geliştirilmiştir. Dünya Bankası tehlike analiz yazılımı Whazan, toksik ve yanıcı kimyasal içeren olayların sonuçlarını ve

tehlike zonlarını hesaplamaktadır. Tehlikeli kimyasal kaynaklı emisyon ve gaz dağılım senaryoları üretmek üzere Hazdig yazılımı geliştirilmiştir (El Harbawi vd., 2008).

Scia yazılımı, El Harbawi vd. (2008) tarafından endüstriyel kaza tehlikelerini değerlendirmek ve analiz etmek için üretilmiştir. Bu yazılım çeşitli senaryolar altında radyasyon, yüksek basınç ve toksik yayılımı analiz eden çeşitli yangın, patlama ve toksik yayılım modellerini içermektedir. Yazılım içerisinde 100 kimyasal madde bulunmakta olup, kullanıcıya yeni kimyasal maddeler eklemesine de olanak sağlamaktadır.

Breeze Olay Analisti (<http://www.breeze-software.com/incidentanalyst/>) de Trinitiy Consulting tarafından ticari olarak dağıtım yapılmakta ve Degadis ve Slab yoğun gaz dağılım modelleri ile Aftox ve Inpuff Gauss modellerini içermektedir. Breeze Olay Analisti daha çok çevre uzmanları tarafından hava kirletici emisyonların ve patlamaların etkisini analiz etmek için kullanılmaktadır (Liu vd.,2018).

5. AFAD-EKA YAZILIMI

AFAD-EKA, endüstriyel kazaların olası fiziksel sonuçlarını hesaplayarak muhtemel etki alanlarını CBS ortamında hesaplayan ve kullanıcıya sunan yerli ve ücretsiz bir yazılımdır. Yazılım bu kabiliyete içerdiği uluslararası alanda kabul gören modeller, zengin kimyasal veri tabanı içeriği ve bunları karşılıklı konuşturan kullanıcı dostu yazılım altyapısı ile ulaşmış olup aşağıda sıralanan özellikleri ile ön plana çıkmaktadır:

- Dünya Standartlarında Kaynaklarla Doğrulanmış Modeller
- Windows Tabanlı Kullanıcı Dostu Ara Yüz
- Birçok Kaza Senaryosunu Hazırlama ve Tanımlayabilme
- Kapsamlı ve Entegre Kimyasal Veri Tabanı
- Entegre Haritalama Sistemi
- Kapsamlı Analiz Sonucu Raporlama
- Grafikselleştirme Yapabilme ve Sonuç Görüntüleme

5.1 Dünya Standartlarında Kaynaklarla Doğrulanmış Modeller

AFAD-EKA, içeriğinde yer alan 13 kaynak ve 7 etki olmak üzere toplam 20 uluslararası kabul görmüş modeli hem ayrı ayrı hem de birbirleriyle bağlantılı olacak şekilde kullanmaktadır. Bir modelin çıktısı bir diğer modelin girdisi olabilmektedir.

Kaynak modelleri: Bir tank veya borudan; sıvı, gaz veya sıvılaştırılmış gazın salınım modellerini (ani salınımı ifade eden G1, 10 dakikada salınımı ifade eden G2 ve sabit kesitten salınımı ifade eden G3 modelleri) içermektedir. Ayrıca havuz buharlaşması modelini de içermektedir. Salınım modellerinde esas amaç kaynaktan ne kadar sürede ne kadar madde çıktığını belirlemektir.

Etki modelleri: Yangın, patlama, toksik yayılım içeren 7 model aşağıda yer alan Tablo 1'de verilmektedir.

Çevreye yanıcı madde salınımı sonucunda, tutuşma ile bir yangın oluşma ihtimali oldukça yüksektir. Yangın sebebiyle oluşan ısı transferi, ısı akısına sebep olmaktadır ve bu ısı akısı çevrede bulunan nesnelere zarar vermektedir. Yangın modelleri;

- BLEVE/Alev Topu Yangın modeli
- Havuz Yangın Modeli
- Jet Yangın Modeli

şeklinde ayrılmıştır ve bu belirlenen modellere göre ilgili modellerle hesaplamalar yapılmaktadır (Pekcan vd., 2021a). AFAD-EKA'daki yangın modellerinin tümü, mesafeye bağlı ısı akısı ve ölüm riski konturları üretir. 2, 5 ve 10 kW/m² ısı akısı değerlerine denk gelen mesafeler harita üzerinde gösterilir. %1, %25, %50 ve %75 ölüm oranı mesafeleri ise modelleme raporunda verilmektedir.

Buhar bulut patlaması, tehlikeli kimyasalların salınımı sonrasında meydana gelebilecek olaylardan birisidir. Buhar bulutu, gaz salınımı veya sistemden salınan sıvının buharlaşması sonucunda oluşmaktadır. Oluşan buhar bulutu yanıcı özelliğe sahipse buhar bulutu patlaması meydana gelebilmektedir. AFAD-EKA'daki patlama modellerinin tümü, mesafeye bağlı basınç ve ölüm riski konturları üretir. 1, 3,5 ve 8 psi basınç değerlerine denk gelen mesafeler harita üzerinde gösterilir. %1, %25, %50 ve %75 ölüm oranı mesafeleri ise modelleme raporunda verilmektedir.

Salınımda ise salınan kimyasal buharın havadan ağır ya da havadan hafif olmasına göre iki ayrı model bulunmaktadır. Havadan hafif gaz yayılım modeli, Gauss yayılım modeline dayalıdır ve ortam havası ile gaz arasındaki yoğunluk farkı dikkate alınmaz. Bu nedenle, model yalnızca yaklaşık olarak hava ile aynı yoğunluğa sahip gazlar için veya serbest bırakma noktasındaki gaz konsantrasyonu düşükse kullanılmalıdır. Havadan ağır durumda ise SLAB modeli kullanılmaktadır (Pekcan vd., 2021a).

Tablo 1. AFAD-EKA etki modelleri

Yangın Modelleri	Jet Yangını Modeli	Yüksek basınç altında jet şeklinde meydana gelen yangın etkisi modelleri.	Modelleme sonucu Isı Akısı 2- 5 ve 10 kW/m ² Ölüm riski: %1, %25, %50 ve %75
	Havuz Yangını Modeli	Kimyasal maddenin kaynak etrafında havuzlanması sonrasında meydana gelen yangınları modeller.	
	Bleve Ateş Topu Modeli	Kaynayan sıvı genleşen buhar patlaması sonucu ortaya çıkan ateş topu etkisi modelleri	
Toksik Yayılım Modelleri	Havadan Hafif Yayılım Modeli	Gauss Yayılım Modeli	Modelleme sonucu 10, 30 ve 60 dakikalık maruziyet sürelerine göre AEGL1, AEGL2 ve AEGL3* Ölüm riski: %1, %25, %50 ve %75
	Havadan Ağır Yayılım Modeli	SLAB Modeli	
Patlama Modelleri	Buhar Bulutu Patlamaları	BST Modeli	Modelleme sonucu Basınç: 1 psi, 3.5 psi, 8 psi Ölüm riski: %1, %25, %50 ve %75
		Multi Enerji Modeli	

*AEGL: Acute Exposure Guideline Levels (Akut Maruziyet Kılavuz Düzeyleri)

Kaza sonrası salınan çoğu tehlikeli madde, çeşitli sebeplerle havadan daha ağır olabilir (Uijt de Haag ve Ale, 2005):

- Molekül ağırlığı: Havadan daha büyük olabilir (Klor, hidrojen florür, amonyak, propan ve LNG vb.)
- Sıcaklık: Salınan malzeme soğuk veya soğutulmuş bir gaz ise(sıvılaştırılmış doğal gaz salınımı gibi)
- Aerosol oluşumu: Basıncı bir sıvı güçlü bir basınçsızlaşmaya maruz kalırsa, patlama meydana gelebilir ve yoğunluğu buhardan daha yüksek bir aerosol ve buhar karışımı salınır.

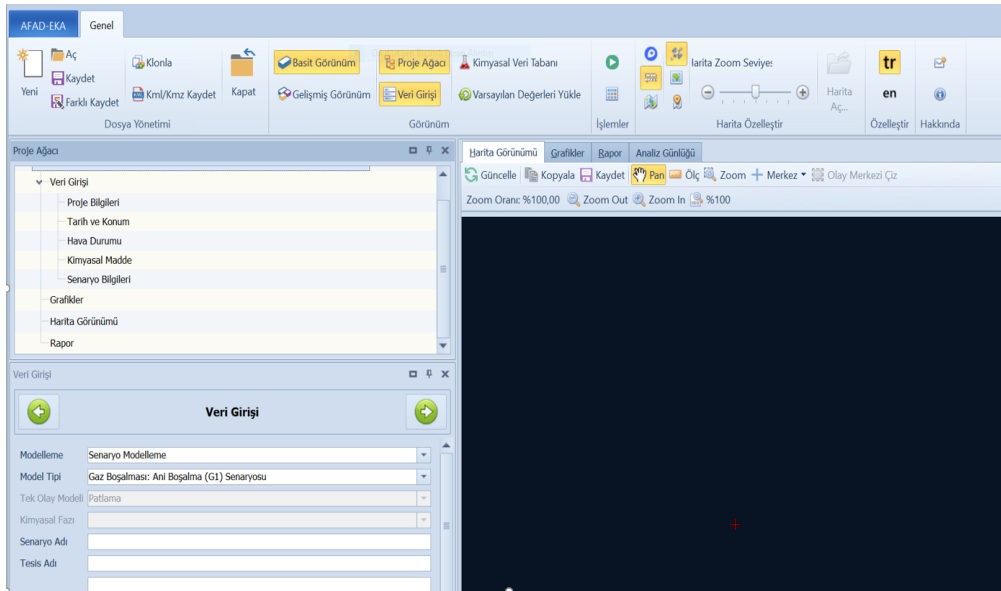
- Kimyasal reaksiyonlar: Bazı reaktif maddeler, atmosfere dağılmaları sırasında moleküler ağırlıklarının değiştiren kimyasal reaksiyonlara (polimerizasyon, hidrasyon vb.) girebilirler.

Gaz havadan daha yüksek bir yoğunluğa sahipse, yerçekimi nedeniyle radyal yönde yayılma eğilimi gösterecek ve bir "gaz havuzu" ile sonuçlanacaktır. Bunun bir sonucu olarak, havada hafif bir gazın aksine, boşalan gaz rüzgârın yönüne doğru yayılabilir. Havadan ağır gazlar için AFAD-EKA programı içerisinde SLAB yazılımı entegre edilmiştir (Pekcan vd., 2021a). AFAD-EKA'daki salınım modellerinin tümü, mesafeye bağlı AEGL (Acute Exposure Guideline Levels: Akut Maruziyet Kılavuz Düzeyleri) ve ölüm riski konturları üretir. AEGL 1, AEGL 2 ve AEGL 3 değerlerine denk gelen mesafeler harita üzerinde gösterilir. %1, %25, %50 ve %75 ölüm oranı mesafeleri ise modelleme raporunda verilmektedir. AEGL değerleri, ABD Çevre Koruma Ajansı (EPA) tarafından belirlenmiş olup, AEGL değerleri, üç önem düzeyi (hafif, geçici etkiler için 1, geri dönüşü olmayan etkiler veya sakınım yeteneğinin engellendiği durumlar için 2 ve yaşamı tehdit eden etkiler için 3) cinsinden ifade edilmektedir.

5.2 Windows Tabanlı Kullanıcı Dostu Arayüz

AFAD-EKA kullanıcı arayüzü, standart bir windows kullanıcı arayüzü kurallarına olabildiğince yakın olacak şekilde tasarlanmıştır. Ekranın üst kısmında dosya yönetimi, basit görünüm/gelişmiş görünüm, dil seçimi (TR/EN), harita seçeneklerinin yer aldığı üst panel, ekranın solunda proje veri girişine imkân sağlayan veri giriş paneli, ekranın sağında ise girilen veriler neticesinde elde edilen sonuçların gösteriminin (harita, rapor ve grafik) yapıldığı sonuç paneli görünmektedir (Şekil 1).

Kullanıcı, senaryoya ait verileri (sıcaklık ve basınç gibi depolama şartları, depolama tankına ait boyut bilgileri, depolama hacim verisi vb.) girdiği zaman, girdiği veriler, senaryo modeline uygunsa sonuç panelinde sonuçlar harita, rapor ve grafik olarak elde edilebilmektedir. AFAD-EKA veri girilmemiş boş arayüzü Şekil 1'de, örnek senaryo verilerinin girildiği veri giriş ekranı Şekil 2'de, modelleme sonucunun gösteriminin yer aldığı harita görünümü Şekil 3'te verilmiştir.



Şekil 1. Veri girişi yapılmamış AFAD-EKA arayüzü (AFAD-EKA, 2023)

Veri Girişi

Senaryo Bilgileri

Boşalma Kaynağı: Yatay Silindirik Tank

Uzunluk (m): 6 Hacim (m3): 3000

Doluluk Oranı (%): 80 Sıvı Yüksekliği (m): 0

Havuzlanma Alanı (m2): 1500 Havuzlanma Yüksekliği (m): 0

Zemin Tipi: Toprak

Zemin Sıcaklığı Tipi: Özel Zemin Sıcaklığı (derece): 0

Sıcaklık Tipi: Özel Sıcaklık (derece): 20

Basınç Tipi: Özel Basınç (bar): 8,5455

Devam Süresi (s): 1800 Maruziyet Süresi (dk): 10

Zaman Adımı (s): 1

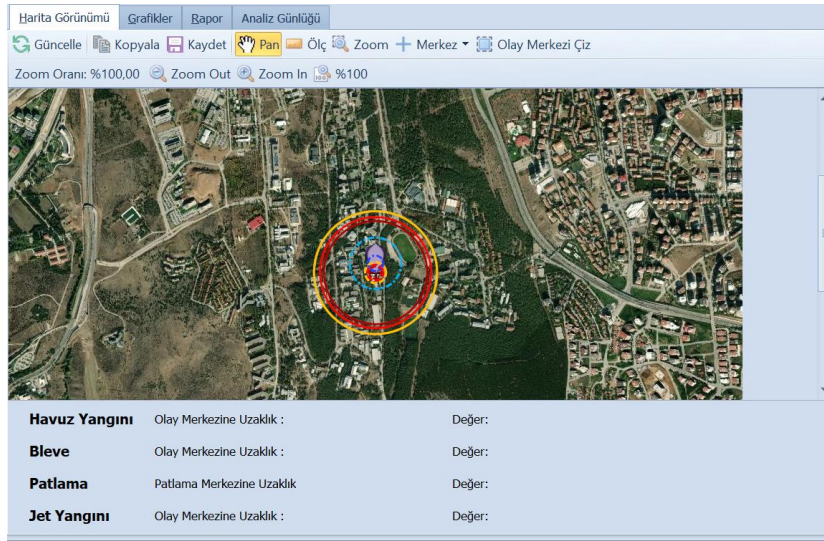
Boşalma Kesit Alanı (m2): 0

Boşalma Yönü: Yatay

Boşalmanın Tank Tabanından Yüksekliği: 0 (Boşalmanın Tank Tabanından Yüksekliği)

Atmosfer Kararlı Davranış (En kötü senaryolar):

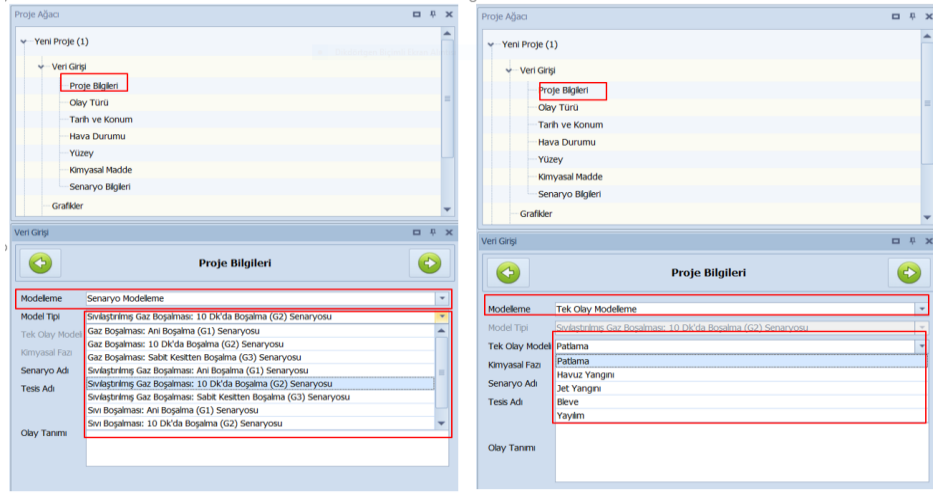
Şekil 2. Senaryo bilgileri (AFAD-EKA, 2023)



Şekil 3. Sonuç paneli harita görünümü (AFAD-EKA, 2023)

5.3 Birçok Kaza Senaryosunu Hazırlama ve Tanımlayabilme

AFAD-EKA, hem senaryo modelleyebilme hem de senaryolardan bağımsız tek olay modelleme yeteneğine sahip olarak tasarlanmıştır. Bu özellikle kullanıcı; havuz yangını, jet yangını, bleve ateş topu yangını, patlama ve yayılım senaryolarını tek başına modelleyebilmektedir (Pekcan vd., 2021b). Kullanıcı, Şekil 4’de verildiği üzere yazılım arayüzünde bulunan proje bilgileri bölümünden “Modelleme” seçeneğinden senaryo modelleri için “Senaryo Modelleme”, tek olay modellemek için ise “Tek Olay Modelleme” seçeneği seçebilmektedir. Model seçildiğinde, AFAD-EKA kimyasalın fiziksel haline uygunluk, sıcaklık, basınç, deliğin bulunduğu yer, tanktaki sıvının yüksekliği gibi salınım koşullarına göre uygun bir model seçilip seçilmediğini kontrol edecektir. Yanlış model seçildiği takdirde, sistem bir hata mesajı verecek ve hesaplama yapmayacaktır (Pekcan vd., 2021a).



Şekil 4. AFAD-EKA yazılımında senaryo ve tek olay modeli seçimi (AFAD-EKA, 2023)

5.4 Kapsamlı ve Entegre Kimyasal Veri Tabanı

AFAD-EKA kaza etkilerinin belirlenmesi için tehlikeli maddelerin kimyasal, fiziksel ve toksik özelliklerini içeren bir veri tabanına sahiptir. Yazılım veri tabanında 600den fazla kimyasal madde bulunmakta olup, kullanıcı özelliklerini bildiği herhangi bir saf kimyasal veya karışımı da yazılım veri tabanına ekleyebilmektedir. Kimyasal maddeler ve bu maddelerin parametrelerini bulmak adına uluslararası düzeyde kabul gören veri tabanları araştırılmıştır. Veri tabanında belirlenen özelliklere bakıldığında ise Tablo 2’de de görüldüğü üzere;

- Sınıflandırma verileri
- Fiziksel ve kimyasal özellikleri
- Yanıcılık verileri
- Toksikite verileri
- Sıcaklık ve basınca bağlı özellikler bulunmaktadır (Pekcan vd., 2021a)

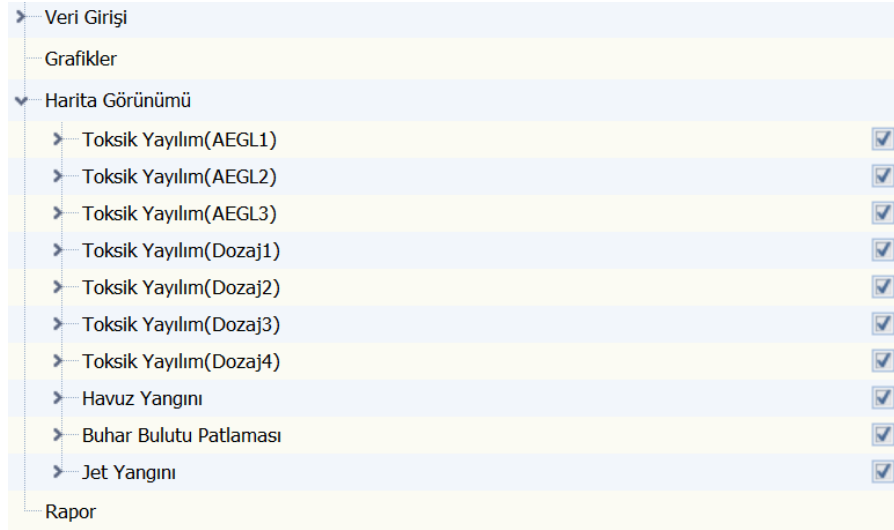
Tablo 2. AFAD-EKA yazılımı kimyasal veri tabanı veri türleri (Pekcan vd., 2021a)

Veri Türü	Veri
Sınıflandırma verileri	CAS numarası, EC numarası, UN numarası, atom sayısı, CLP H kodu, CLP P kodu, CLP piktogram kodu, kimyasal formül
Fiziksel ve kimyasal özellikleri	Molekül ağırlığı, kaynama noktası, erime noktası, kritik sıcaklık, kritik basınç, kritik hacim, üçlü nokta sıcaklığı, üçlü nokta basıncı, kritik sıkıştırma faktörü
Yanıcılık verileri	Parlama noktası, tutuşma sıcaklığı, kendiliğinden tutuşma sıcaklığı, alt yanıcılık limit değeri, üst yanıcılık limit değeri, yanma ısısı, Pmax, minimum tutuşma enerjisi, sıcaklık sınıfı, gaz grubu verileri
Toksikite verileri	IDLH maruziyet verisi, TWA maruziyet verisi, STEL maruziyet verisi, MAK maruziyet verisi, LC50 verileri, probit analizi eğri sabitleri, AEGL 1,2,3 (10 dk, 30 dk, 60 dk) verileri, 60 dk için PAC1, PAC2, PAC3 verileri*
Sıcaklık ve basınca bağlı özellik formülleri	Sıvı yoğunluğu, gaz yoğunluğu, sıvı ısı kapasitesi, gaz ısı kapasitesi, buharlaşma ısısı, buhar basıncı, sıvı viskozitesi, gaz viskozitesi, sıvı termal iletkenliği, gaz termal iletkenliği, yüzey gerilimi

*IDLH: Immediately dangerous to life or health values (Hayata veya sağlığa hemen tehlikeli değerler), TWA: Time weighted average (Zaman ağırlıklı ortalama), STEL: Short term exposure level (Kısa süreli maruziyet sınırı), LC50: Lethal concentration (Öldürücü konsantrasyon), MAK: Maximale arbeitsplatz (Maximum işyeri konsantrasyonu), PAC: Protective action criteria for chemicals (Kimyasallar için koruyucu eylem kriterleri)

5.5 Entegre Haritalama Sistemi

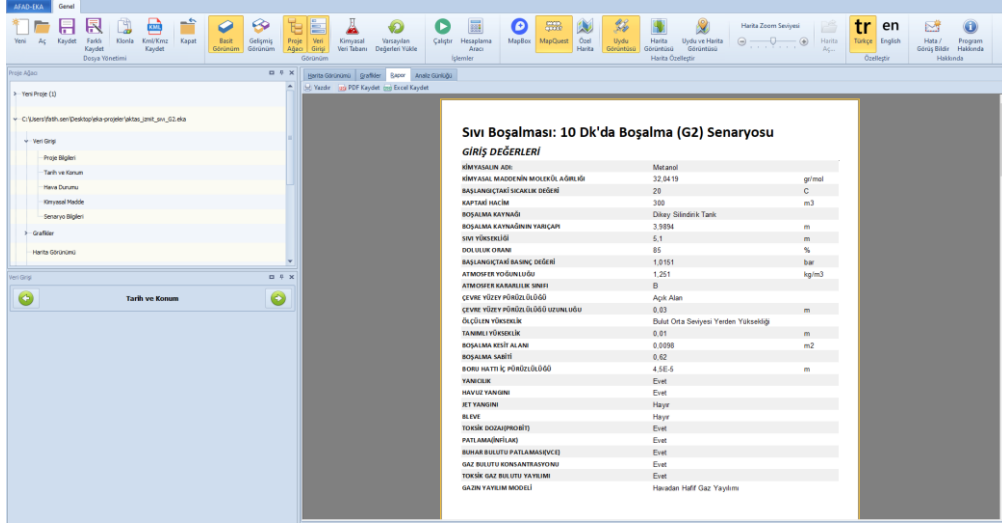
AFAD-EKA, kullanıcının ya harita sağlayıcılardan ya da özel haritalar (bilgisayar ortamında resim formatında kayıtlı haritalar) ile isteğe bağlı olarak modellemeyi yapmasına imkân sağlamaktadır. Harita sağlayıcılar ile modelleme için, kullanıcı modelleme yapacağı konuma ait koordinat ve/veya adres bilgisini girerek modellemeyi çalıştırmalıdır. Özel harita seçeneğinde ise bilgisayarda mevcut olan resim formatındaki harita veya uydu görüntüleri yazılıma yüklenebilir. Kullanıcı, yüklenen resimde gerçek uzunluğu bilinen iki nokta ve koordinat bilgilerini derece/dakika/saniye cinsinden yazılıma girerek modellemeyi çalıştırmalıdır. Modelin çalıştırılması ve harita sağlayıcılarının seçiminin ardından Şekil 5’de verildiği üzere Harita Görünümü sekmesinde olay türüne bağlı olarak sonuçlar gruplanmıştır. Bu olay türlerinin sağında bulunan kutucukların açılıp kapatılmasıyla haritada istenen sonuçların/konturların görünmesi, istenmeyenlerin ise görünmemesi sağlanmaktadır. Haritanın alt kısmında bulunan alanda ise Şekil 3’de görüldüğü gibi harita üzerindeki olayların değerleri okunabilir. Fare imleci harita üzerinde hareket ettikçe noktanın olay merkezine olan uzaklığı ve fiziksel etki değeri görünür. Oluşturulan sonuç haritaları kml/kmz formatında kaydedilebilmekte, böylece farklı harita uygulamalarında görüntülenmesi sağlanmaktadır.



Şekil 5. AFAD-EKA yazılımında harita görünümü sekmesinde olay türü sonuçlarının görünümü (AFAD-EKA, 2023)

5.6 Kapsamlı Analiz Sonucu Raporlama

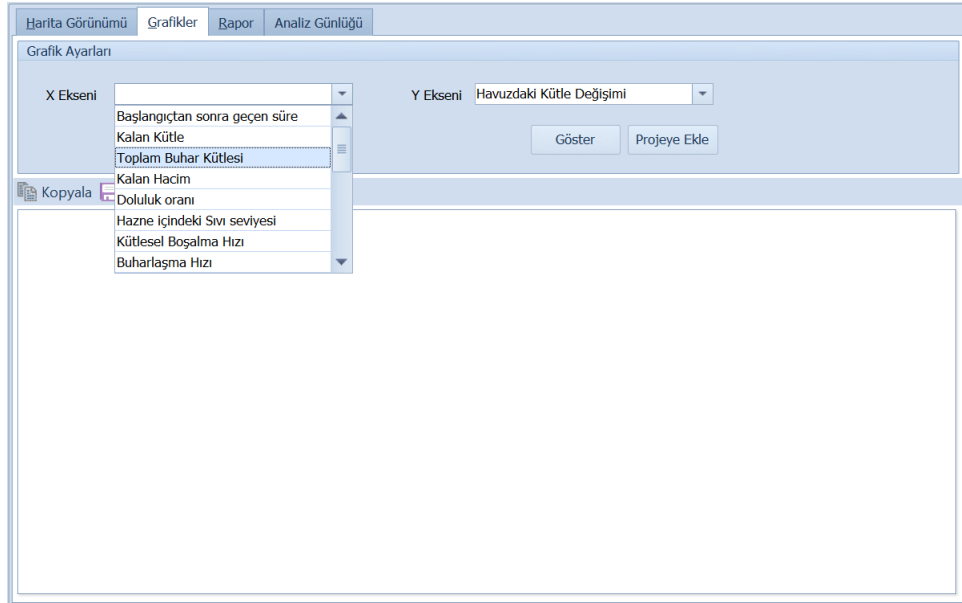
AFAD-EKA Rapor paneli, modeli çalıştırırken girilen giriş değerlerini ve çalıştıktan sonra oluşan sonuç değerlerini göstermektedir. Sonuç değerleri, son olayların meydana gelme durumuna bağlı olarak değişkenlik gösterir. Tüm değişken parametreler gruplandırılarak kontrolleri kolaylaştırmak hedeflenmiştir. Yazılım sonucunda oluşturulan raporlar, excel ve/veya pdf olarak bilgisayar ortamına kaydedilebilmektedir. Şekil 6’da rapor panelinin genel görünümü görülmektedir.



Şekil 6. AFAD-EKA yazılımında rapor panelinin genel görünümü (AFAD-EKA, 2023)

5.7 Grafikselle Sorğu Yapabilme ve Sonuç Görüntüleme

Veri Girişi işlemleri tamamlandıktan sonra grafik sonucu, model tarafından hesaplanabilecek tüm grafikleri sunar. Model çalıştırdıktan sonra senaryoya uygun parametreler ile Grafik sekmesi altında grafikler oluşturulur, projeye kaydedilir, bilgisayara bmp formatında yüklenir. Senaryoya uygun grafikler oluşturulurken, Şekil 7'deki gibi grafik ayarları ile X ve Y eksenleri belirlenir. Eksenlerin parametreleri seçilen modele bağlı olarak değişkenlik gösterir. Eksenler; zaman, kütle, hacim, hız vb. senaryoyu sağlayan herhangi bir parametreye göre oluşturulabilir. Eksen seçimi tamamlandığında grafiği görüntüleyebilmek için Şekil 8'de gösterildiği gibi "Göster" düğmesi kullanılır (Pekcan vd., 2021b).



Şekil 7. AFAD-EKA yazılımında grafik-eksen Seçimi (AFAD-EKA, 2023)



Şekil 8. AFAD-EKA yazılımında grafik görüntüleme (AFAD-EKA, 2023)

6. SONUÇLAR

Afetlerin sayısı ve sıklığının arttığı bir dönemi yaşıyoruz. Bu gerçek karşısında, karşı karşıya olduğumuz afet riskinin büyüklüğünü tahmin etmek ve bu riskleri azaltıcı önlemlerin belirlenmesi gerekmektedir. Endüstriyel kazaların olası sonuçlarını nicel olarak tahmin etmek, karşı karşıya olduğumuz riskin büyüklüğünü bilmek açısından önemlidir. Olası sonuçlar hakkında ise uluslararası kabul görmüş endüstriyel kaza model ve yazılımları ile bilgi sahibi olabilmekteyiz. Bu bağlamda Hollanda menşeli Effects yazılımı, Norveç menşeli Phast yazılımı, ABD menşeli Aloha yazılımı, AB menşeli Adam yazılımı vb. büyük oranda ticari yazılımlar mevcuttur. Ülkemizde bu alanda ilk defa AFAD-EKA yazılımı AFAD Başkanlığı tarafından "Büyük Endüstriyel Kazalara Yönelik Etki Alanı Modelleme Yazılımı Projesi" kapsamında üretilmiştir. AFAD-EKA, endüstriyel kazaların olası fiziksel sonuçlarını hesaplayarak muhtemel etki alanlarını CBS ortamında hesaplayan ve kullanıcıya sunan yerli, ücretsiz ve kullanıcı dostu bir yazılımdır. Yazılım bu kabiliyete içerdiği uluslararası alanda kabul gören modeller, zengin kimyasal veri tabanı içeriği ve bunları karşılıklı konuşturan yazılım altyapısı ile ulaşmıştır. Yazılımın geliştirilmesi ve yaygınlaştırılması çalışmaları AFAD Başkanlığı tarafından ilgili ve sorumlu kurum ve kuruluşlar ile işbirliği içerisinde devam etmekte olup desteklediği oranda yaygınlaşacak, yaygınlaştığı oranda ise bu alanda ortak dil birliği sağlanacak, dışa bağımlılık azalacaktır. AFAD-EKA yazılım sonuçlarının diğer yazılım sonuçları ile karşılaştırılmasının ayrı bir makalede verilmesi düşünülmektedir.

Makale Bilgisi: AFAD-EKA yazılımı, AFAD Başkanlığı tarafından "Büyük Endüstriyel Kazalara Yönelik Etki Alanı Modelleme Yazılımı Projesi" kapsamında üretilmiştir.

KAYNAKLAR

AFAD-EKA. (2023). AFAD-EKA Ulusal Endüstriyel Kazalar Etki Alanı Modellemesi Yazılımı. [Masaüstü Yazılımı Ekran Görüntüleri]. Afet ve Acil Durum Yönetimi Başkanlığı.

Al-shanini, A., Ahmad, A. ve Khan, F. (2014). Accident modelling and analysis in process industries, *Journal of Loss Prevention in the Process Industries* (32):319-334. <https://doi.org/10.1016/j.jlp.2014.09.016>

CRED (Center for Research on the Epidemiology of Disasters). (2022). *Crunch 65-Technological Disasters: Trends & Transport accidents*. 01 Temmuz 2023 tarihinde, <https://cred.be/sites/default/files/CredCrunch65.pdf> adresinden erişildi.

El Harbawi, M., Mustapha, S., Choong, T. S. Y., Abdulrashid, S., Kadir, S. ve Abdulrashid, Z. (2008). Rapid analysis of risk assessment using developed simulation of chemical industrial accidents software package, *International Journal of Environmental Science & Technology* 5 (1): 53-64. <https://doi.org/10.1007/BF03325997>

Guan, W., Liu, Q. ve Dong, C. (2022). Risk assessment method for industrial accident consequences and human vulnerability in urban areas, *Journal of Loss Prevention in the Process Industries* (76) 104745. <https://doi.org/10.1016/j.jlp.2022.104745>

Homberger, E., Reggiani, G., Sambeth, J. ve Wipf, H. (1979). The Seveso accident: its nature, extent and consequences, *The Annals of Occupational Hygiene* 22(4): 327-370. <https://doi.org/10.1093/annhyg/22.4.327>

Hoşcan, O. (2019). *Endüstriyel Kazalar İçin Acil Durum Toplanma Noktasının Çok Kriterli Karar Verme Yöntemi İle Seçimi*. Yüksek Lisans Tezi, Gazi Üniversitesi, Ankara

Liu, R., Liu, J., Zhang, Z., Borthwick, A., Cai, Y., Dong, L. ve Du, X. (2018). Risks of airborne pollution accidents in a major conurbation: Case study of Zhangjiakou, a host city for the 2022 Winter Olympics, *Stochastic Environmental Research and Risk Assessment* 32(11): 3250-3272. <https://doi.org/10.1007/s00477-018-1590-5>

Öcalan, S. (2022). *Endüstriyel Kazaların Arazi Kullanım Planlaması, Domino Etkisi ve Harici Acil Durum Planları Yönünden İncelenmesi ve Muhtemel Mevzuat Güncelleme Önerileri*. İçişleri Bakanlığı Afet ve Acil Durum Yönetimi Başkanlığı Uzmanlık Tezi.

Pekcan, O., Girgin, S., Aydoğan, F., Yücelen, D. S., Kurada, B. ve Şen, M.F. (2021a). *Büyük Endüstriyel Kazalara Yönelik Etki Alanı Modelleme Yazılımı Projesi Teknik Dokümantasyon Raporu*.

Pekcan, O., Girgin, S., Aydoğan, F., Yücelen, D. S., Kurada, B. ve Şen, M.F. (2021b). *Büyük Endüstriyel Kazalara Yönelik Etki Alanı Modelleme Yazılımı Projesi Final Raporu*.

Sebos, I., Progiou, A., Symeonidis, P. ve Ziomas, I. (2010). Land-use planning in the vicinity of major accident hazard installations in Greece, *Journal of Hazardous Material* (179):901-910. <https://doi.org/10.1016/j.jhazmat.2010.03.091>

Şen, M. F., Kurada, B. ve Tanrıverdi, E. (2022). Endüstriyel kazalar etki alanı modellemesi yazılımı, BEK Politikaları Çalıştay, Maden Tetkik ve Arama Genel Müdürlüğü.

Truong, S.CH., Lee, M., Kim, G., Kim, D., Park, J., Choi, S. ve Cho, G. (2016). Accidental benzene release risk assessment in an urban area using an atmospheric dispersion model, *Atmospheric Environment* (144): 146-159. <https://doi.org/10.1016/j.atmosenv.2016.08.075>

Uijt de Haag, P. A. M. ve Ale, B.J.M. (2005). Guideline for quantitative risk assessment, Purple Book, Part one: establishments: 5.1.- 7.1.

URL 1, <https://www.afad.gov.tr/aciklamali-afet-yonetimi-terimleri-sozlugu> (Son Erişim: 11.04.2023).

URL 2, <https://teknolojikkazalar.org/> (Son Erişim: 30.04.2023).

URL3, <https://www.aa.com.tr/tr/gundem/sakaryadaki-havai-fisek-fabrikasindaki-patlamanin-uzerinden-2-yil-gecti/2628618> (Son Erişim: 11.04.2023).