

YAPAY ZEKA TABANLI ALMAYLA ARTTIRILMIŞ ÜRETİM: EASA CS-E ÜZERİNE BİR UYGULAMA

Göksu Anıl KIZILDOĞAN¹, Melih Cemal KUŞHAN²

¹Analythinx. Caferağa, Gen. Asım Gündüz Cd. No:62, 34710 Kadıköy/İstanbul

Tel: 212 288 47 30 E-Posta goksu.kizildogan@analythinx.com

²Eskişehir Osmangazi Üniversitesi Meşelik Kampüsü Büyükdere

Mah. Prof. Dr. Nabi AVCI Bulvarı No:4 Eskişehir TÜRKİYE

Tel: 216 298 77 89 E-Posta erzesk@gmail.com

Özet- Bu çalışmada, EASA'nın CS-E Amendment 7 dokümanı üzerine odaklanan açık kaynaklı bir Almayla Arttırılmış Üretim (RAG) uygulaması geliştirilmiştir. Sistem, CS-E dokümanını küçük parçalara böldükten sonra vektörleştirerek, hibrit bir alma mekanizması ile bilgi erişimini optimize etmektedir. Değerlendirme sonuçları, sistemin CS-E dokümanı üzerinde yüksek doğruluk ve güvenilirlik sunduğunu göstermektedir. Ayrıca, modüler yapısı sayesinde farklı kaynaklardaki metinlere uyarlanabilir ve yeni teknolojiler kolayca entegre edilebilir. Bu çalışma, havacılık sektörü için teknik mevzuatın daha erişilebilir ve uygulanabilir hale getirilmesine yönelik önemli bir katkı sağlamaktadır.

Anahtar Sözcükler: Yapay Zeka, Makine öğrenmesi, LLM, RAG, EASA, CS-E

1. GİRİŞ

Avrupa Havacılık Emniyeti Ajansı (EASA) tarafından yayımlanan CS-E (Sertifikasyon Şartları - Motorlar) dokümanı, havacılık sektöründe motor tasarımı, sertifikasyonu ve güvenliği açısından büyük bir öneme sahiptir. CS-E, motor üreticilerinin ve mühendislik ekiplerinin uyum sağlaması gereken teknik ve hukuki gereklilikleri detaylandırarak, havacılık emniyetinin yüksek standartlarda korunmasını amaçlamaktadır.[1] Ancak, bu kapsamlı düzenlemeler büyük hacimli metinler içerdiğinden, ilgili uzmanların ihtiyaç duydukları bilgilere hızlı ve doğru bir şekilde erişmesi önemli bir zorluk oluşturmaktadır.

Bu bağlamda, Alma ile Arttırılmış Üretim (Retrieval-Augmented Generation - RAG) yaklaşımına sahip bir yapay zeka destekli sohbet botu, uzmanların CS-E dokümanına dayalı sertifikasyon süreçlerini daha verimli bir şekilde yönetmelerine yardımcı olabilir. Geliştirilen RAG tabanlı sistem, kullanıcıların doğrudan mevzuatın ilgili bölümlerine erişmesini sağlayarak hem zaman

kazandırmakta hem de yorumlama hatalarını en aza indirmektedir. Böylece, mühendisler ve denetçiler için düzenleyici uyumluluğun sağlanması daha erişilebilir hale gelmektedir.

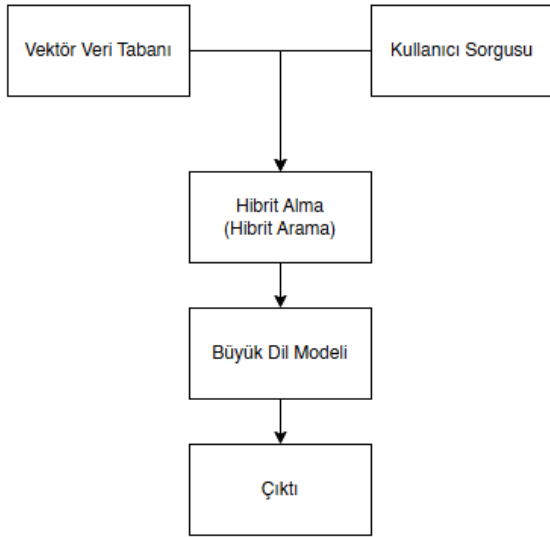
Bu çalışmada, tamamen açık kaynaklı kütüphaneler ve büyük dil modelleri (LLM) kullanılarak CS-E Amendment 7 üzerine özel bir RAG uygulaması geliştirilmiştir. İlk olarak, CS-E dokümanı özel olarak tasarlanmış bir algoritma ile alt bölümlere ayrılmış ve ardından her bir alt bölüm LangChain'in metin bölme aracıyla daha küçük metin bloklarına bölünmüştür. Bu metinler, Nomic Embed Text gömme modeli kullanılarak vektör formatına dönüştürülmüş ve Chroma vektör veritabanında saklanmıştır.

Bilgi çağırma süreci, Chroma'nın vektör tabanlı alma yöntemi ile BM25 tabanlı klasik bilgi getirme yönteminin hibrit bir kombinasyonu kullanılarak gerçekleştirilmiştir. Bu iki yöntem, eşit ağırlıklarla birleştirilerek daha yüksek doğruluk ve güvenilirlik sağlayan bir geri çağırma mekanizması oluşturulmuştur. Model servisi için Ollama platformu kullanılarak, DeepSeek-r1 70B büyük dil modeli entegre edilmiş ve Python dili ile LangChain platformu tabanlı bir işlem hattı oluşturulmuştur.

Tamamen açık kaynak ekosisteminde geliştirilen bu çözüm, havacılık sektöründeki regülasyon uzmanları ve mühendisler için pratik bir başvuru aracı olarak işlev görmeyi hedeflemektedir. Genel amaçlı çevrimiçi sistemler (ChatGPT, Claude, DeepSeek vb.), teknik konularda geniş ancak yüzeysel bilgi sunduğundan, bu çalışma CS-E gibi karmaşık ve detaylı bir düzenlemeye dair derin bilgi sağlayan özel bir sistem oluşturmayı amaçlamaktadır. Böylece, CS-E gibi karmaşık dokümanların yorumlanması ve uygulanması süreçleri daha erişilebilir ve verimli hale getirilecektir.

2. SİSTEM ELEMANLARI

Uygulama sistemi, kabaca kullanıcı sorusu/sorgusu ve bu soruya sistemin verdiği cevap şeklindedir. Kullanıcının girdisi sisteme alındıktan sonra vektör veritabanında bu girdi ile anlamsal olarak en yakın kayıtlar getirilir. Bu kayıtlar, doğrudan metin alakası olarak yakın olan kayıtlar ile harmanlanır ve hibrit alma gerçekleştirilir. Buradan elde edilen cevap, kullanıcı sorusu ile birlikte büyük dil modeline gönderilir. Büyük dil modeli, gelen cevabın kullanıcı sorusuna ilişkin yakınlık kontrolüne bakar ve uygun olması durumunda nihai cevabı oluşturur ve kullanıcıya iletir. Yakın olmaması durumunda sorgu tekrardan oluşturulur ve bu döngü gerekmedinceye kadar tekrar edilir. Üst seviye yaklaşımı kullanıcı, sistem, cevap şeklinde olan akışın şeması Şekil 1’de görülmektedir.



Şekil 1 Soru-Cevap Sistem Şeması

Akışın parçaları farklı yaklaşımları destekleyecek şekilde modüler olarak birleştirilmiştir. Böylece geliştirmeler yapıldıkça sistem yapısı etkilenmeden yetkinliklerin de gelişmesi sağlanmıştır.

2.1 Kaynağın Parçalara Ayrılması

CS-E dokümanı, genel, pistonlu motorlar ve türbinli motorlar gibi alt kısımlardan oluşmaktadır. Her bir alt kısım “CS-E Sayı” formatında olacak şekilde ilgili bir bölüm sayısı ile ifade edilmektedir. Bazı CS-E parçalarının altında ise “Kabul edilebilir uygunluk yöntemlerini (acceptable means of compliance, AMC)” ifade eden alt kısımlar vardır.

Doküman parçalara ayrılırken, anlam bütünlüğünün ve ifadelerin korunması açısından her bir CS-E grubunun bütün olarak ayrılması sağlanmıştır. Örneğin ardışık 2 kısım olan CS-E 240 içerisine CS-E 230’dan bir metnin karışması engellenmiştir.

Her bir parçanın içerisindeki metin ayrıştırıldıktan sonra, o parçanın sayı kodu ve parçayı temsil eden anahtar sözcükler çıkartılmıştır. Anahtar sözcükler parçanın ismi, parçada en çok geçen kelimeler, parçanın amacı gibi farklı yaklaşımlarla türetilmiştir. Böylece kullanıcıların sorduğu soruya cevap verirken anlamsal yakınlığa ek olarak metadata araması da sağlanabilmektedir. Örnek X ve Y CS-E bölümleri için parça şemaları Şekil 2’de paylaşılmıştır. Kaynak doküman, Python dilinde yazılmış özel bir algoritma ile kitap formatından parça şemalarına dönüştürülmüştür.

CS-E X	CS-E Y
İçerik (Metin Blokları)	İçerik (Metin Blokları)
Sayı (X)	Sayı (Y)
Anahtar Sözcükler	Anahtar Sözcükler

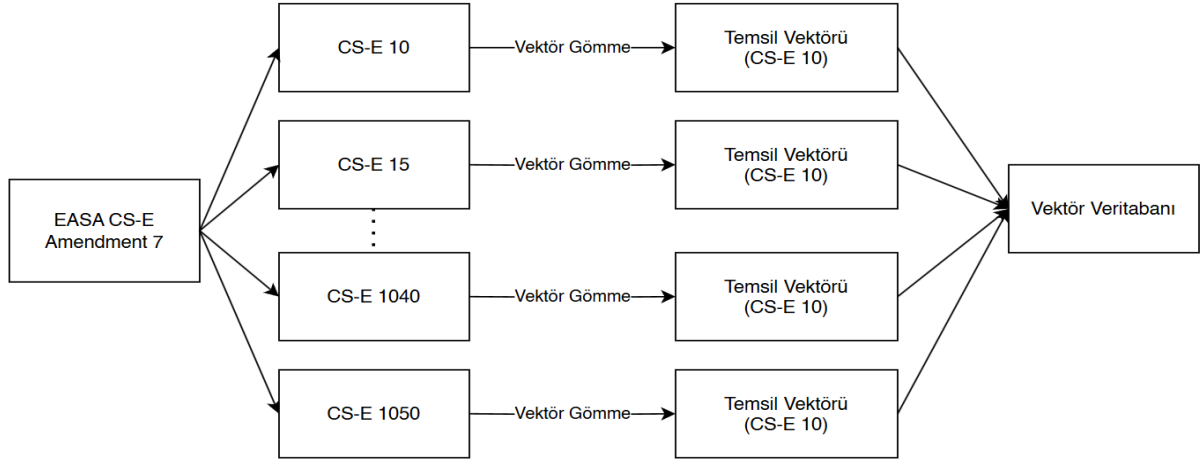
Şekil 2 CS-E Kaynak Parçaları

Tüm CS-E parçaları için parça şemaları çıkartıldıktan sonra, yeni satır, yeni paragraf, boşluk vb. ayraçlar yardımıyla içerikler belirli uzunluktaki alt gruplara ayrılmıştır. Bu alt gruplarındaki metin yığını büyüklükleri ve yığınların birbirleri içerisine geçmesi ayarlanmıştır. Böylece diğer hazırlık adımlarında daha düzgün bir dağılım ve vektör uzayında eşit temsil sağlanmıştır.

2.2 Vektör Gömme ve Vektör Veritabanı

Dokümanın küçük parçalara ayrılması, anahtar sözcük oluşturulması gibi işlemler vektör gömme adımıyla hazırlık işlemleridir. Vektör gömme ise “insan dili”nde oluşturulan metin vs. içeriklerin bilgisayar diline dönüştürülmesi işlemine denir. [2] Burada kastedilen, belirli boyutlara ve içeriklere sahip, sayılarla ifade edilen çok boyutlu bir uzayda metinlerin temsildir. Nomic-Embed-Text, büyük içerikleri dönüştürebilen metin kodlayıcısı (text encoder), parçaların anlam kaybı olmadan sayı vektörlerine dönüştürülmesinde kullanılmıştır.

Vektör veritabanı ise bu vektörlerin saklandığı, vektör işlemlerinde hızlilik ve kolaylık sağlayan veritabanlarına verilen isimdir.[3] Vektör veritabanları geleneksel ilişkisel veritabanlarından farklı olarak metadata filtrelemesi, veri saklaması, veri gömme işlemleri veya doğrudan metin araması gibi operasyonların hepsini vektörler üzerinde verimli bir şekilde gerçekleştirebilirler. Bu çalışmada ise açık kaynaklı platformlar arasından Chroma kullanılmıştır. Chroma Python ile hızlıca geliştirme imkanı sunarken, sistemin üzerine kurulduğu LangChain platformu ile de büyük uyum içerisindedir. Dokümanın parçalara ayrılıp vektör gömme işlemi sonrası veritabanına aktarılma şeması Şekil 3’te paylaşılmıştır.



Şekil 3 Dokümandan Veritabanına Dönüşüm Adımları

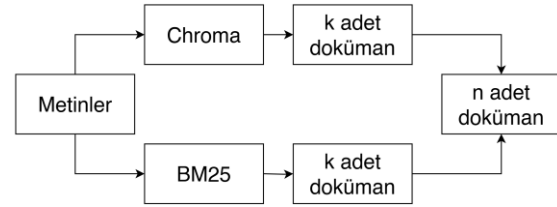
2.3 Hibrit Alma Yapısı

Almayla arttırılmış üretimin temeli alma yapısıdır. Kalitesiz veya yanlış alınmış bir veri ile sağlıklı üretim yapmak mümkün değildir. Metinlerin parçalanma yaklaşımları, kullanılan vektör gömme kodlayıcısı, anlamsal veya metin tabanlı alma platformları alınmış verilerin kalitesini etkileyen bazı faktörlerdir.

Bu çalışma kapsamında hibrit bir alma yapısı kurulmuştur. Buradaki hibrit yaklaşım 2 farklı kaynaktan gelen bilgilerin sentezini ifade etmektedir. Birinci kaynak, kullanıcı sorgusuna en yakın anlamı (vektörü) getirebilen anlamsal aramaya ek olarak metadata filtresi sayesinde dokümanları da filtreleyebilen Chroma'dır. Chroma veritabanı vektörleri saklamaya yarayan bir veritabanı olduğu gibi performanslı olarak alma işlemini de yapabilmektedir. İkinci kaynak ise geleneksel, sözcük bazlı alma yöntemi olan BM25'tir. Bir kelimeyi barındıran dokümanlarla barındırmayan dokümanların oranını kullanarak (TF-IDF) kullanıcı sorgusu ile doküman yakınlığı hesaplanır.[4] Burada anlamsal veya vektörel bir işlemde ziyade daha temel seviye bir doğal dil işleme yaklaşımı vardır.

İki alıcı da LangChain aracılığıyla ayrı ayrı oluşturulduktan sonra yine LangChain üzerindeki "EnsembleRetriever" yöntemi kullanılarak birleştirilir. Anlam bütünlüğünün korunması sırasında teknik jargona göre kesin ve doğru cevap da verebilmek için iki alıcının ağırlıkları eşit kabul edilmiştir. Bu ağırlıklar parametrik olduğu için farklı yaklaşımlar için kolaylıkla güncellenebilmektedir. Sistem sorguyu hibrit alıcıya besledikten sonra iki alıcı tarafından k adet cevap oluşturulur. Bu cevaplar n adet cevap olacak şekilde sentezlenir.

Hibrit alıcı çalışma şeması Şekil 4'te temsil edilmiştir.



Şekil 4 Hibrit Alıcı Çalışma Şeması

2.4 Büyük Dil Modeli ve Kontroller

Büyük dil modelleri, farklı makine öğrenmesi teknikleriyle eğitilen, eğitim verilerindeki doğal dil veya benzeri metinleri, insani içerikleri anlayan ve üreten yapay zeka sistemleridir. Bu modeller, almayla arttırılmış üretimin son yani üretim adımından sorumlu parçalardır. Modeller açık ve kapalı kaynaklı, sadece metin veya sadece görsel, çok modlu (multimodal) vb. şekillerde sınıflandırılabilirler. [5] Bu çalışmanın amacı olarak açık kaynak kodlu platformlar kullanılmasından dolayı DeepSeek'in ürettiği olduğu, muhakame yeteneği olan DeepSeek-R1 70B modeli tercih edilmiştir. DeepSeek-R1, firmanın muhakame yeteneği olan R1 serisini ifade ederken, 70B ise modelin yaklaşık 70 milyar parametre (70.6) içerdiğini belirtir. Parametre sayısı arttıkça model performansı da artmaktadır. Bu noktada 14 milyar parametrelili model jargonu anlamak için yeterli olduğu görülmüştür fakat almayla artırma işlemlerinin kalitesini korumak, gelen cevabın kontrolünü yaparken kontrolü yüksek seviye tutmak için 70 milyarlık model seçilmiştir. Sistemin diğer parçaları gibi bu parçanın da kolaylıkla değişebilmesi sayesinde donanımın elverdiği platformlarda 671 milyarlık model de değerlendirilebilir.

Kontrol adımı oluşturmak için girdi formatında önceden belirlenmiş taslaklar oluşturulmuştur. Alınan dosyalar sisteme gitmeden önce dosyaların soruyu tam anlamıyla açıklamasını anlayabilmek adına kullanıcı sorusu ve alınan cevaplar bir taslak içerisinde R1 70B modeline beslenmiştir. Burada amaç dil modelinin anlam gücünden faydalanarak kullanıcının soruyu yanlış sorması, farklı veya yakın anlamlardan doğan karmaşalar, alma sistemlerinin çalışma prensibinden doğan yetkinliklerin seviyesi gibi problemlerin önüne geçmektir.

2.5 Çıktının Oluşturulması

Kontrol adımına benzer şekilde, önceden hazırlanmış taslaklar yardımı ile dil modelinin nihai çıktıyı oluşturması sağlanır. Kontrolden geçen dokümanlar, kullanıcı sorusu ve ek yönergeler ile birlikte taslak kullanılır. Böylelikle model istenilen formatta ve doğrulukla çıktıyı üretir. Modelin istenmeyen bir cevap üretme ihtimaline karşı da arka plana son bir kontrol adımı yerleştirilir. Bu adım ise dil modelinin sahte veya yanlış yönlendiren, gerçekte yer almayan bir üretim yapmasını (halüsinasyon) engellemiş olur. [6]

Bu adımda da kontrol adımına benzer şekilde bir muhakeme durumu gerekmektedir. Hibrit alma ile gelen veriler, model tarafından kullanıcı sorgusu etrafında sentezlenmelidir. Bu noktada, uzmanlık gerektiren, yoruma açık teknik konularda da eldeki verilerle tatmin edici bir cevap verebilmek için kullanılan dil modelinin kapasitesinin yüksek olması gerekmektedir. Dil modelinin yorum gücü sadece belgelerin yorumlanmasında kullanılmamaktadır. Bu çalışmanın amacı doküman ile ilgili soruları cevaplamak olduğu için, dokümandan bağımsız bir soru geldiğinde dil modelinin bu bağımsızlığı da ifade etmesi gerekmektedir. Bu sentez sonrası çıktı metin bloğu kullanıcının önüne sunulur. Bu çalışmada anlatılan yapı modüler olduğu için dil modeli çıktısı bir arayüze veya farklı servislere gönderilebilmektedir.

3. ÇIKTILAR

Kullanıcı sorusunu alıp ilgili cevabı üreten almayla arttırılmış sistem, doküman ile ilgili sorulara cevap verebilecek şekilde servis edilmektedir. Dokümanın orijinal hali İngilizce ve Türkiye'deki havacılık otoritesi tarafından resmi bir Türkçe çevirisi olmadığı için soru-cevap çiftleri orijinal dilde hazırlanmıştır. Bu çiftler Tablo 1'de paylaşılmıştır:

Tablo 1 Sistem Soru-Cevap Çiftleri

Sorgu	Cevap
What is the objective of AMC E 510 Safety Analysis?	The objective of AMC E 510 Safety Analysis is to ensure that the risk posed by engine failures to the aircraft is acceptably low. This involves managing individual major and hazardous engine risks by proportionally reducing their likelihood based on severity, thereby supporting engine design goals. The analysis uses methodologies like FMEA and FTA to comprehensively evaluate potential failure effects across all operational scenarios, ensuring no Major or Hazardous Engine Effects exceed acceptable probability levels.
What does the term "full-up configuration" mean?	The term "full-up configuration" is not defined in the provided context.
How can I design an engine control system to be single fault tolerant?	"To design an engine control system that is single-fault tolerant, consider the following approach: **Redundancy**: Implement redundant components within the system. This ensures that if one component fails, another can take over its function without interruption, maintaining system performance. **Safety Objectives Compliance**: Ensure the system's design complies with the aircraft's safety objectives. This involves controlling the rate of Loss of Thrust or Power Control (LOTC/LOPC) events to keep them within acceptable limits for the intended application. **Testing and

XIII. ULUSAL UÇAK, HAVACILIK VE UZAY MÜHENDİSLİĞİ KURULTAYI

	Validation**: Conduct thorough testing to simulate single failures and verify that the system remains tolerant, ensuring it handles foreseeable malfunctions effectively. By integrating these strategies, the engine control system will be robust against single faults, maintaining safety and reliability as required by the aircraft's operational needs."
What type of data is defined as aircraft supplied data?	***Aircraft Data:** Supplied Aircraft supplied data refers to information generated or provided by the aircraft's systems, which is essential for the operation of the Engine Electronic Control System (EECS). This includes: 1. **Recordings:** Data such as rotorcraft One Engine Inoperative (OEI) recordings, which are crucial for engine control and performance monitoring. 2. **Computations:** Use of aircraft central computers to perform some or all engine control functions, indicating that computational resources from the aircraft are integral to engine operations. 3. **Interfaces and Resources:** Information related to physical and functional interfaces with the aircraft systems, including backup modes and propeller integration, as described in the context. This data is necessary for the engine's operational modes, performance calculations, and ensuring compliance with certification standards, highlighting the

	dependency of EECS on aircraft resources beyond the engine itself."
Is the engine oil tank required to be fireproof?	The engine oil tank must typically be fireproof. However, there are exceptions: if the engine has an integral oil sump with a capacity of less than 23.7 liters, the tank does not need to be fireproof but must still comply with CS-E 130(b). In all other cases, the oil tank should be fireproof unless damage by fire would not result in hazardous spillage or leakage.

4.SONUÇ

Bu çalışmada, EASA'nın CS-E dokümanına yönelik olarak tamamen açık kaynaklı bir almayla artırılmış üretim uygulaması geliştirilmiş ve test edilmiştir. Yapılan değerlendirmeler sonucunda, sistemin bilgi çağırma ve yanıt üretme performansının oldukça başarılı olduğu gözlemlenmiştir. Hibrit alma mekanizması sayesinde, hem vektör tabanlı hem de BM25 tabanlı yöntemlerin avantajları birleştirilerek, kullanıcıların aradıkları bilgilere yüksek doğrulukla ve hızlı bir şekilde ulaşmaları sağlanmıştır. Bu doğruluk, sertifikasyon süreçlerinde kritik öneme sahip olan mevzuat yorumlamalarının daha güvenilir hale gelmesine olanak tanımaktadır.

Bu çalışmanın en önemli özelliklerinden biri, modüler bir mimariye sahip olmasıdır. Kullanılan bileşenlerin her biri bağımsız olarak güncellenebilir ve geliştirilebilir yapıdadır. Bu sayede, gelecekte yeni bilgi çağırma teknikleri, daha gelişmiş dil modelleri veya farklı vektör veritabanları entegre edilerek sistemin performansı daha da artırılabilir. Ayrıca, bu mimari sadece CS-E dokümanına özgü kalmayıp, diğer teknik ve düzenleyici metinler için de kolayca adapte edilebilecek şekilde tasarlanmıştır. Bu esneklik, benzer alanlardaki uzmanların da sistemden faydalanmasına olanak tanımaktadır.

Gelecekte, büyük dil modelleri ve almayla artırılmış üretim tabanlı sistemler alanında daha ileri gelişmeler beklenmektedir. Daha derin kavramsal anlayışa sahip modeller, uzun ve karmaşık teknik metinlerde daha iyi performans gösterebilir. Aynı zamanda, bilgi çağırma mekanizmalarının daha hassas hale getirilmesiyle, kullanıcılara özelleştirilmiş ve bağlama duyarlı yanıtlar sunulabilir. Açık kaynak ekosisteminin

gelişimiyle birlikte, bu tür projelerde daha güçlü araçlar ve optimizasyon yöntemleri kullanılabilecek, böylece hem doğruluk hem de verimlilik açısından önemli ilerlemeler kaydedilebilecektir.

Sonuç olarak, bu çalışma, CS-E dokümanı gibi teknik düzenlemelerin daha erişilebilir ve anlaşılır hale getirilmesi için güçlü bir araç sunmaktadır. Gelecekteki gelişmeler ve entegrasyonlarla birlikte, sistemin performansının daha da artırılması ve farklı alanlara uyarlanması mümkün olacaktır. Bu tür almayla artırılmış üretim uygulamaları, mühendisler, denetçiler ve düzenleyici kurumlar için kritik bilgileri hızlı ve güvenilir bir şekilde sunarak, sektörün daha etkin çalışmasına katkıda bulunacaktır

5. REFERANSLAR

- [1] European Aviation Safety Agency, “Certification Specifications and Acceptable Means of Compliance for Engines (CS-E)” Amendment 7, Ara.2023
- [2] M.Grohe, “word2vec, node2vec, graph2vec, X2vec: Towards a Theory of Vector Embeddings of Structured Data” Association for Computing Machinery, New York, 2020, s.1-16
- [3] Y.Han, C.Lui, P.Wang, “A Comprehensive Survey on Vector Database: Storage and Retrieval Technique, Challenge” arXiv cs.DB, 2023
- [4] J.S.Whissel, C.L.Clarke, “Improving document clustering using Okapi BM25 feature weighting.”, Information retrieval, cilt 14, 2011, s.466-487
- [5] Y.Zhang ve diğerleri, “Llm as a mastermind: A survey of strategic reasoning with alrge language models”, arXiv cs.CL, 2024
- [6] L.Huang ve diğerleri, “A survey on hallucination in large language models: Principles, taxonomy, challenges, and open questions”, ACM Transactions on Information Systems, No.43, 2025, s.1-55

6. ÖZGEÇMİŞ

1- Göksu Anıl KIZILDOĞAN

Lisans derecesini 2017’de Orta Doğu Teknik Üniversitesi Makina Mühendisliği bölümünde, yüksek lisans derecesini ise 2020’de Eskişehir Osmangazi Üniversitesi Makine Mühendisliği bölümünde tamamlamıştır. 2024 yılı itibarıyla Eskişehir Osmangazi Üniversitesi Havacılık Bilimi Ve Teknolojileri bölümünde doktora eğitimine devam etmektedir. 2017-2021 yılları arasında Tusaş Motor Sanayi Pistonlu Motorlar Tasarım Müdürlüğü içerisinde Performans ve Kalibrasyon mühendisi olarak çalışmıştır. 2021’den itibaren Analythinx bünyesinde uzman veri bilimci ve IoT analitikleri pratik lideri olarak çalışmaktadır.

2- Melih Cemal Kuşhan

Eskişehir Osmangazi Üniversitesinde Makine Mühendisliği Profesörüdür. Yüksek Lisans derecesini Anadolu üniversitesi Endüstri Mühendisliği bölümünden, Doktora derecesini Eskişehir Osmangazi Üniversitesi Makine Mühendisliği bölümünden almıştır. Avustralya’daki Wollongong ve James Cook Üniversiteleri ile uluslararası ortak çalışmalar yürütmüştür. Çalışma alanı savunma ve havacılık sanayiindeki malzeme bilimidir. 100 den fazla konferans ve araştırma yazılarının yazarı veya yardımcı yazarıdır. Havacılık alanında 1 kitap yazmış ve 3 uluslararası kitap bölümü yazmıştır. Editör olarak 2 uluslararası kitap projesi tamamlamıştır. Türk Hava Kuvvetleri, Alp Havacılık ve General Elektrik’in (GE) ortak girişimi olan TUSAŞ Motor Endüstrisi (TEI) gibi havacılık kuruluşları ile işbirliği içinde çeşitli sanayi ve araştırma çalışmalarına katkıda bulunmuştur. Eskişehir’deki ulusal havacılık kümesi üyesidir ve birçok şirkette danışman ve denetçi olarak çalışmaktadır.