



## EN 50126-1 Standardına Göre RAMS Yönetimi ve CSM-RA 402/2013'e Göre Ortak Emniyet Yönteminin Karşılaştırılması ve Ortaklaştırılması: ETCS Sistemi Odometre Fonksiyonu Örnek Çalışması

Murat BALABAN<sup>1</sup>, Kemal Faruk DOĞAN<sup>2</sup>, Sultan GÜNDÜZ<sup>1</sup>, Abdullah TUNÇEZ<sup>1</sup>

<sup>1</sup> ASELSAN, UGES Sektör Başkanlığı, Ankara, Türkiye

<sup>2</sup> RAGEM, Ankara, Türkiye

\*kemaldogan@ragem.tr

(Alınış/Received: 16.12.2025, Kabul/Accepted: 20.01.2026, Yayınlama/Published: 20.01.2026)

**Öz:** Demiryolu teknolojilerinin gelişimiyle birlikte, sistemlerin karmaşıklığı ve fonksiyonel bağımlılıkları artmakta; bu durum, güvenilirlik, emre amadelik, idame ettirilebilirlik ve emniyet (RAMS) yönetiminin daha yapılandırılmış ve sistematik yaklaşımlarla ele alınmasını zorunlu kılmaktadır. Dünya genelinde yaygın olarak bu gereksinim EN 50126-1 standardı ile kapsamlı bir sistem yaşam döngüsü modeli çerçevesinde karşılanmaktadır. Bununla birlikte, Avrupa Birliği mevzuatına tabi tüm yeni ve önemli değişiklikler için zorunlu hale gelen CSM-RA 402/2013/EU düzenlemesi, sistematik risk analizi ve risk kabul prensiplerine dayalı bir ortak emniyet yöntemi sunmaktadır. Her iki yaklaşım da farklı kökenlere sahip olmakla birlikte, sistematik risk yönetimi, izlenebilirlik ve emniyet ispatı süreçlerinde kapsayıcı bir yapı oluşturmaktadır. Bu çalışmada, EN 50126-1 standardına göre RAMS yönetimi ile CSM-RA'ya göre yürütülen ortak emniyet değerlendirme süreci teknik düzeyde karşılaştırılmış, gereksinim yapıları, analiz yaklaşımları ve dokümantasyon çıktıları yönüyle ortaklaştırma ilkeleri ele alınmıştır. Karşılaştırmalı analiz, Avrupa Tren Kontrol Sistemi (ETCS) içindeki odometre fonksiyonu özelinde uygulamalı bir vaka çalışması ile somutlaştırılmıştır. Sonuç olarak, standarda dayalı RAMS yönetimi ile mevzuata dayalı CSM-RA sürecinin birlikte uygulanabilirliği gösterilmiş, bu kapsayıcı yaklaşımın karmaşık emniyet-kritik demiryolu sistemlerinde emniyet güvencesi oluşturmadaki etkinliği ortaya konulmuştur.

**Anahtar kelimeler:** RAMS, Emniyet, ETCS, CSM-RA, Demiryolu

### Comparison and Harmonization of RAMS Management According to EN 50126-1 and Common Safety Methods According to CSM-RA 402/2013: A Case Study on the ETCS Odometer Function

**Abstract:** With the development of railway technologies, the complexity and functional dependencies of systems are increasing; this situation makes it mandatory to address the RAMS Management with more structured and systematic approaches. Worldwide, this requirement is widely met within the framework of a comprehensive system life cycle model with the EN 50126-1 standard. In addition, the CSM-RA 402/2013/EU regulation, which has become mandatory for all new and significant changes subject to European Union legislation, provides a common safety method based on systematic risk analysis and risk acceptance principles. Although both approaches have different origins, they create an inclusive structure in systematic risk management, traceability, and safety assurance processes. In this study, RAMS management according to EN 50126-1 and the common safety assessment process carried out according to CSM-RA 402/2013 are compared at a technical level, and the principles of harmonization are addressed in terms of requirement structures, analysis approaches, and documentation outputs. The comparative analysis is concretized with an applied case study on the odometer function within the ETCS (European Train Control System). As a result, the applicability of standard-based RAMS management and regulation-based CSM-RA process together has been demonstrated, and the effectiveness of this inclusive approach in providing safety assurance in complex safety-critical railway systems has been revealed.

**Keywords:** RAMS, safety, ETCS, CSM-RA, Railway

Atıf için/Cite as: M. Balaban, K.F. Doğan, S. Gündüz, A. Tunçez, "EN 50126-1 standardına göre RAMS yönetimi ve CSM-RA 402/2013'e göre ortak emniyet yönteminin karşılaştırılması ve ortaklaştırılması: ETCS sistemi odometre fonksiyonu örnek çalışması," *Demiryolu Mühendisliği*, sy. 23, no. 1842986, 2026, doi: 10.47072/demiryolu.1842986

## 1. Giriş

TSI (Karşılıklı İşletilebilirlik Şartnameleri) kapsamındaki karşılıklı işletilebilirlik gerektiren demiryolu projelerinde, CSM-RA ve EN 50126-1 standardına tam uyum sağlanması yasal bir zorunluluktur. Tescil ve homologasyon süreçlerinde CSM-RA uyumluluğu, Yetkilendirilmiş Bağımsız Emniyet Değerlendiricisi (AsBo) tarafından değerlendirilmektedir. EN 50126-1, RAMS süreçlerini yönetmek için genel bir çerçeve sunarken, EN 50126-2 bu yapıyı sistem emniyeti açısından derinleştirir. CSM-RA'nın gereklerini karşılamak sadece bu standartlara atıf yapmakla sınırlı değildir; aynı zamanda risk değerlendirme yöntemlerinin bu standartlarla uyumlu olacak şekilde uygulanması da zorunludur. Bu nedenle, projelerde hem CSM-RA hem de EN 50126 serisi arasında bütüncül ve tutarlı bir yaklaşım geliştirilmesi esastır. TSI kapsamında olmayan projeler için CSM-RA uyumluluğu bir zorunluluk değildir. Bu makale de EN 50126-1 ve CSM-RA'nın ETCS Araçüstü sistemi içindeki odometre fonksiyonu kapsamında ortak kullanımını ele almakta; bu iki farklı yaklaşımının benzerliğini ve birbirini nasıl tamamladığını teknik bir bakış açısıyla incelemektedir.

## 2. EN 50126'ya Göre RAMS Yönetimi Süreci ve Sistem Yaşam Döngüsü

EN 50126-1 Standardı, demiryolu uygulamaları için güvenilirlik (Reliability–R), emre amadelik (Availability–A), idame ettirilebilirlik (Maintainability–M) ve emniyet (Safety–S) süreçlerini kapsayan RAMS Yönetimini sistematik bir şekilde yönetmek için bir yaşam döngüsü modeli sunar. Şekil.1'de bu sistem yaşam döngüsü görevlerinin hangi sırayla yürütüleceği, V-Model gösterimi ile özetlenmiştir. EN 50126-1 Standardı, güvenilirlik, emre amadelik, idame ettirilebilirlik (RAM) görevlerini ayrı, Emniyet görevlerini ayrı gruplandırmaktadır. RAMS Yönetimi için bu görevlerin dışında her bir adımda doğrulama ve sistem geçirme görevlerinin de yürütülmesi gereklidir.

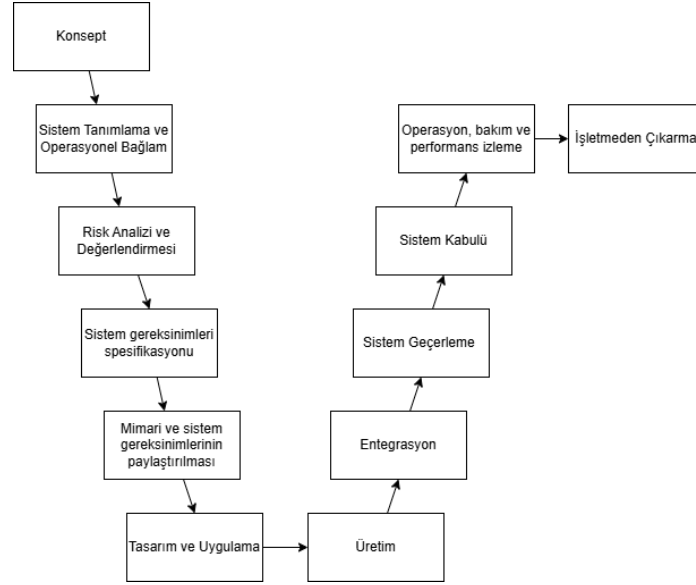
Güvenilirlik (Reliability–R) görevleri, sistemin, herhangi bir zaman dilimi içerisinde gerekli ve istenen fonksiyonları doğru bir biçimde sağlayabilmesini ele alır. Arızaların hangi sıklıkla ortaya çıktığı güvenilirlik analizleri ile tahmin edilir.

Emre Amadelik (Availability–A) görevleri, herhangi bir zamanda sistemin çalışır olması ve istenen fonksiyonları sağlayabilmesini inceler. Bir bileşen veya sistem hangi ölçüde kullanıma hazır durumdadır analiz edilir ve sistem emre amadelik hedefi incelenir.

İdame ettirilebilirlik (Maintainability–M) görevleri, sistem arızalandığı zaman, arızanın giderilerek en kısa sürede tekrar işletmeye geçmesini inceler. Önleyici ve düzeltici bakımlar detaylı olarak ele alınır. İdame ettirilebilirlik ve güvenilirlik analizlerinin ardından emre amadelik analizi yapılabilir.

Emniyet (Safety–S) görevleri, sistemin insanlara veya çevreye zarar vermeden çalışabilmesini inceler. Her bir arıza sonrası ortaya çıkabilecek sonuçlar detaylı analiz edilir.

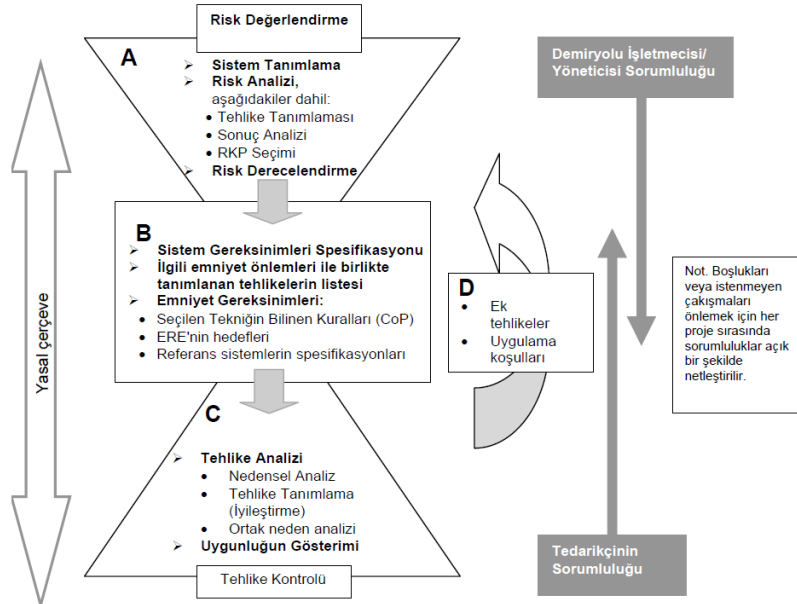
Bu makale de bu süreçlerden emniyet görevleri ve süreci ele alınacaktır.



Şekil 1. Sistem yaşam döngüsünün özet V-model gösterimi [1]

### 2.1. Emniyet yönetimi

Emniyet, insan sağlığı veya çevre ile ilgili kabul edilemez risklerin olmamasını ifade eder. Emniyet yönetimi, emniyet sürecinin uygun bir şekilde uygulanmasını sağlayan yönetim yapısıdır. Emniyet yönetimi süreci, özellikle emniyet yönleriyle ilgilenen RAMS yönetimi sürecinin bir parçasıdır.



Şekil 2. Kum saati modeli [2]

Şekil 2'de belirtilen kum saati modeli, Şekil 1'de belirtilen yaşam döngüsü modelinde gösterilen operasyon, bakım, performans izleme, işletmeden çıkarma yaşam döngüsü adımlarını içermese de emniyetin sağlanmasına yardımcı olan basitleştirilmiş bir yaklaşım sunmaktadır. Kum Saati Modeli, ilgili sorumluluk alanları da dahil olmak üzere, bir teknik sistem için kabul edilebilir bir emniyet seviyesi sağlamak için gereken hazard ve risk analiz tabanlı olarak gereksinimlerin

tanımlanması ve bu risklerin tasarım önlemleri ile kontrol altında tutulması ile ilgili faaliyetlere genel bir bakış sağlar.

Sistem yaşam döngüsü ile Kum Saati modeli eşleştirildiğinde, 'A' bölümü "Konsept", "Sistem Tanımlama ve Operasyonel Bağlam", "Risk Analizi ve Değerlendirmesi" aşamalarını ifade eder. 'B' bölümü "Sistem Gereksinimleri Spesifikasyonu" aşamasını ifade eder. 'C' bölümü ise, "Mimari ve Sistem Gereksinimlerinin Paylaştırılması", "Tasarım ve Uygulama", "Entegrasyon", "Sistem Validasyonu" aşamalarına karşılık gelir.

Kum saati modelinde belirtilen faaliyetleri açıklayacak olursak, 'A' bölümü Risk Değerlendirmesi aşamasında, sistem fonksiyonları ve sınırları tanımlanır. Sistem seviyesinde meydana gelebilecek hazzardlar belirlenir. Hazzardların meydana gelmesi durumunda olası sonuçlar belirlenir. Risk kabul prensibi seçilir. Bu risk kabul prensipleri, "Tekniğin Bilinen Kuralları", "Referans Sistemler", "Açık Risk Tahmini" olarak standartta tanımlanmıştır. Son olarak hazzardan kaynaklı oluşan hasarın sıklığı ve şiddetine göre riskler derecelendirilir.

"B" bölümünde ise, hazzardlar detaylıca tanımlanır. Tolere edilebilir ve edilemez hazzardlar belirlenir. Bu hazzardlardan kaynaklı riskleri bertaraf etmek için "Tekniğin Bilinen Kuralları" prensibi seçildiyse ilgili gereksinimler, "Referans Sistemler" seçildiyse referans sistem özellikleri, "Açık (Ayrıntılı) Risk Tahmini" seçildiyse, Tolere Edilebilir Hazzard Oranları" ayrı ayrı tanımlanır ve emniyet gereksinimi spesifikasyonu oluşturulur.

"C" bölümü Hazzard Kontrolü aşamasında, hazzardlar analiz edilir. Hazzard kontrolü, ilgili emniyet fonksiyonları ile gerekli THR (Tolere Edilebilir Hazzard Oranı) değerlerine ulaşılmasını ve yönetimini göstermek içindir. kök neden analizi, hata ağacı analizi, ortak neden analizi gibi analiz yöntemleri ile hazzardlar ve nedenleri detaylıca incelenir. Daha sonrasında bu nedenleri ortadan kaldıracak gereksinimler belirlenir. Bu gereksinimlere göre tasarım yapılır. Bu tasarlanan sistemde, emniyet gereksinimlerinin yerine getirildiğinin ispatı için emniyet analizlerinin yapılması ve ispat dokümanlarının hazırlanması gereklidir.

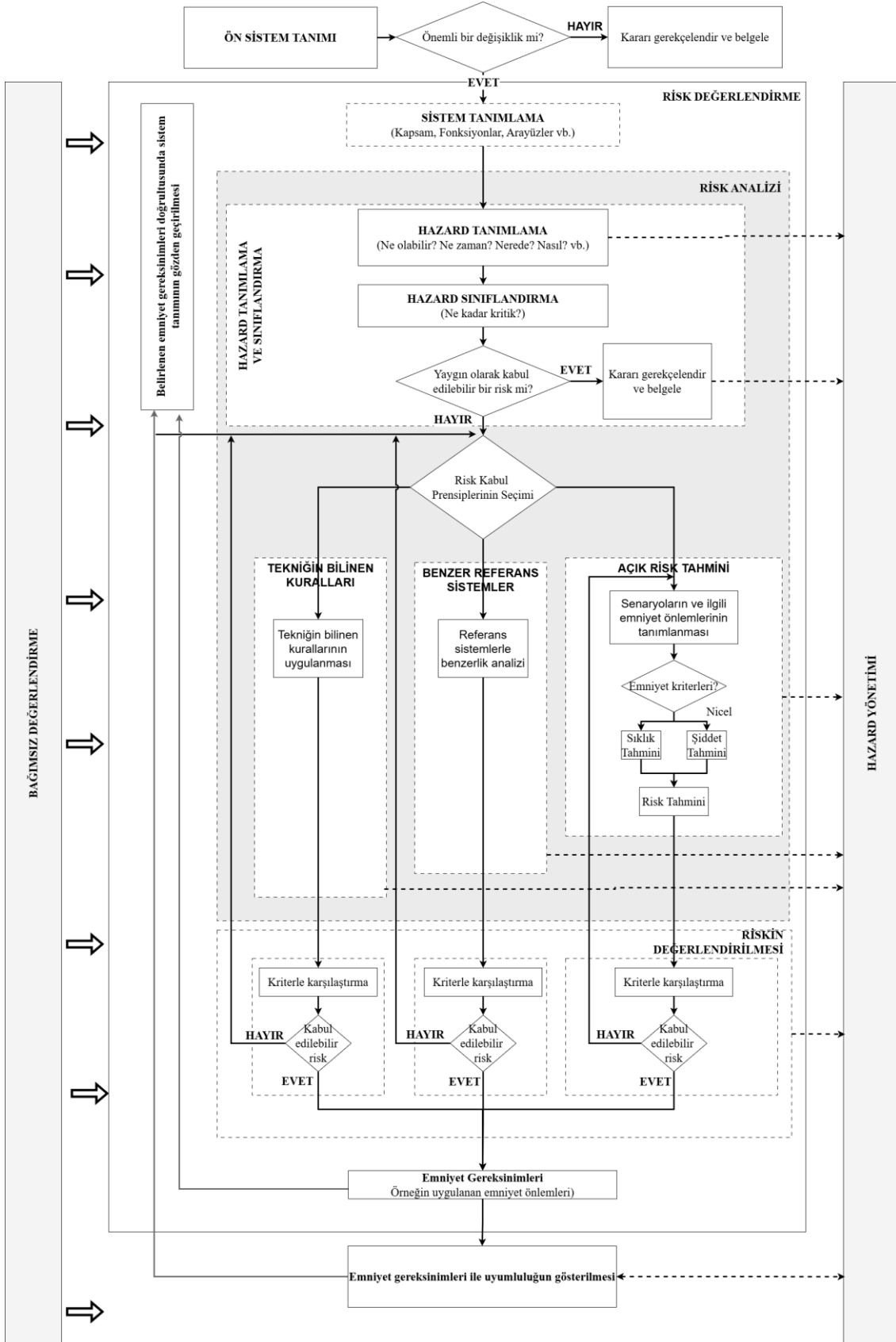
### **3. CSM-RA 402/2013 Düzenlemesine Göre Ortak Emniyet Yöntemleri ve Risk Değerlendirmesi**

Risk tahmini ve değerlendirme için ortak emniyet yöntemleri CSM-RA 402/2013/EU düzenlemesi, Avrupa Birliği Demiryolu Ajansı tarafından yayımlanmış ve Avrupa'daki tüm demiryolu sistemlerinde zorunlu olarak uygulanması gereken bir emniyet değerlendirme çerçevesidir.

Bu düzenlenmenin amacı, demiryolu sistemlerinde yapılacak, önemli teknik, operasyonel veya organizasyonel değişikliklerin potansiyel risklerini yönetmek, risklerin sistematik, izlenebilir ve standartlaştırılmış bir yöntemle değerlendirilmesini sağlamak ve farklı ülkelerde ve kuruluşlarda ortak bir emniyet yaklaşımı geliştirmektir.

Bu düzenleme, yeni sistemler, mevcut sistemlerdeki önemli değişiklikler, sistem entegrasyonu için geçerlidir.

CSM 402/2013 düzenlemesinin dayandığı risk değerlendirme sürecine şunlardır: ön sistem tanımı, değişikliğin önemlilik değerlendirmesi, sistem tanımı, hazzardların belirlenmesi ve sınıflandırılması, risk değerlendirme ve risk kabul prensiplerinin belirlenmesi, riskin yeniden değerlendirilmesi, emniyet gereksinimleri ve emniyet gereksinimlerinin karşılandığının gösterimi. Bu süreç Şekil.3'te özetlenmiştir.



Şekil 3. Risk yönetimi süreci ve bağımsız değerlendirme süreci [4][5]

#### 4. CSM-RA 402/2013 Düzenlemesi ve EN 50126-1 Standardının Karşılaştırılması ve Ortaklaştırılması

CSM-RA, yeni sistemler dahil demiryolu sistemine herhangi bir teknik, operasyonel veya organizasyonel değişiklik önerildiğinde, geçerlidir. Değişikliği yapan kişi ('teklif sahibi' olarak bilinir) öncelikle değişikliğin emniyet üzerinde bir etkisi olup olmadığını CSM-RA'daki ölçütleri kullanarak değerlendirmelidir. Emniyet üzerinde bir etkisi yoksa, önemli bir değişiklik olarak sınıflandırılmaz ve CSM-RA'da ki risk yönetim süreci uygulanmak zorunda değildir ve teklif sahibi, kararına nasıl ulaştığına dair bir kayıt tutmalıdır.

Değişikliğin emniyet üzerinde bir etkisi varsa, teklif sahibi hazard tanımlama ve sınıflandırma sürecini uygulamalıdır. Değişiklik önemliyse, teklif sahibi risk analizi ve değerlendirmesi süreçlerini uygulamalıdır. Değişiklik önemli değilse, yani tanımlanan hazardlardan kaynaklı riskler yaygın olarak kabul edilebilir emniyet riskleri ise, teklif sahibi risk yönetimi sürecini uygulamakla yükümlü değildir ancak yaygın olarak kabul edilebilir emniyet risklerini yönetmek için sürecin kullanılması şiddetle önerilir. Teklif sahibi, kararına nasıl ulaştığına dair bir kayıt tutmalıdır [4][5].

CSM-RA özellikle önemli değişiklikler için bir risk değerlendirmesinin ne zaman ve neden gerekli olduğunu tanımlar. EN 50126, bu risk değerlendirmesinin tam bir yaşam döngüsü emniyet yönetimi çerçevesi içinde nasıl gerçekleştirileceğini tanımlar.

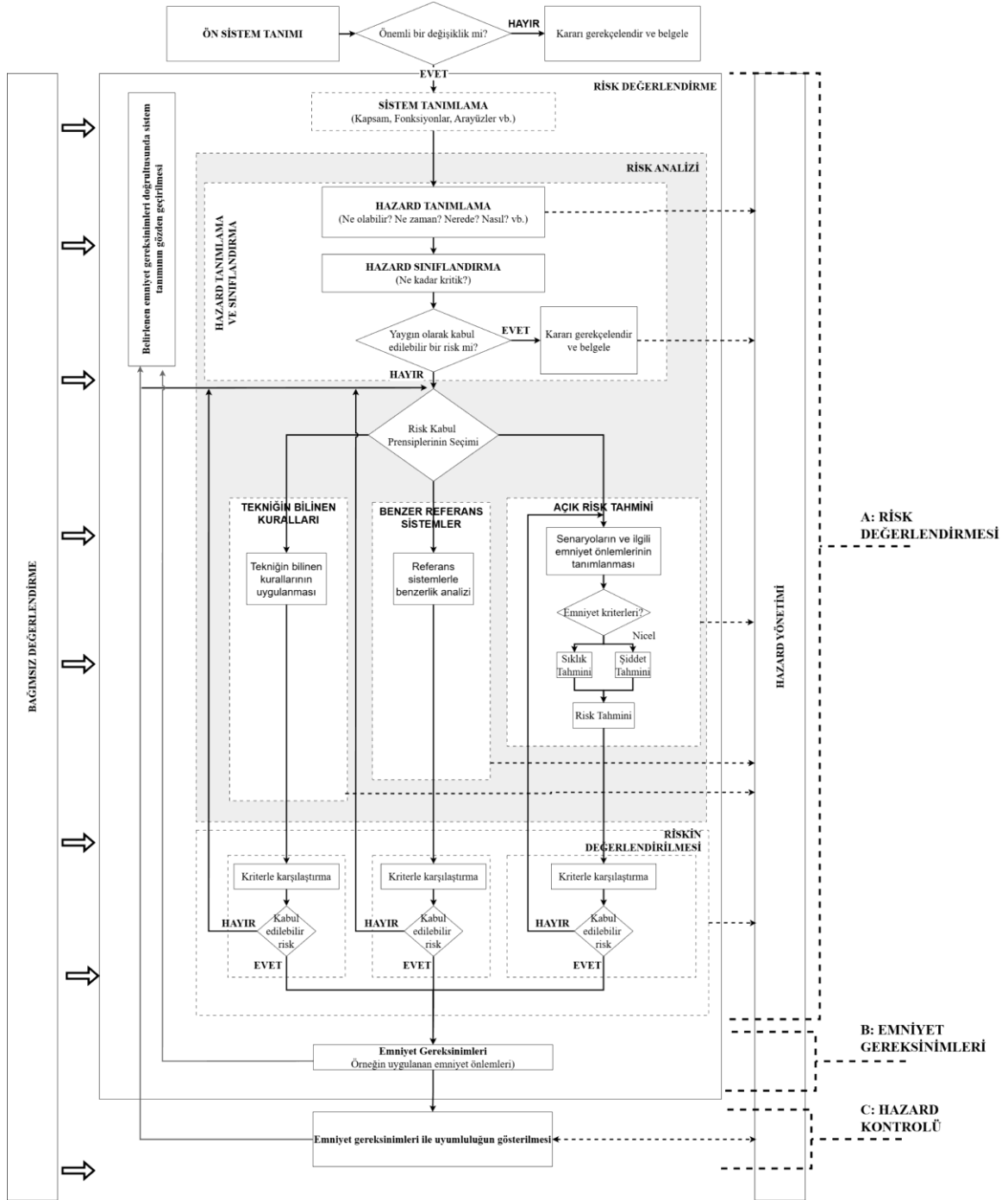
CSM-RA, EN 50126-1'de tanımlanan süreçleri, özellikle de emniyet yaşam döngüsü ve risk yönetimi ilkelerini uygulayarak yerine getirilebilir. CSM-RA'daki Hazard Tanımlama ve Risk Kabul Prensipleri (RKP), EN 50126-1'deki emniyet gereksinimleri tahsisi ve doğrulama süreçleriyle iyi bir şekilde uyumludur. Birlikte, emniyetin demiryolu sistemi yaşam döngüsü boyunca sistematik olarak değerlendirilmesini, gerekçelendirilmesini ve yönetilmesini sağlarlar.

Şekil 4, CSM-RA süreci ile emniyet yönetimi için Kum Saati Modeli [2] arasındaki ilişkiyi göstermektedir. Şekildeki kutular, Kum Saati Modelindeki ilişkili aşamaları temsil eder.

"Bağımsız Değerlendirme" bölümü, EN 50126-1 ve EN 50126-2 uyarınca Bağımsız Emniyet Değerlendirmesine karşılık gelir ve "Hazard Yönetimi", EN 50126-1 ve EN 50126-2 uyarınca "Hazard Kaydı Yönetimi"ne karşılık gelir.

**Tablo 1.** CSM-RA aşamaları ve kum saati aşamaları arasındaki ilişki

CSM-RA Aşaması	Kum Saati Aşaması
Risk Değerlendirme ve Riskin Değerlendirilmesi	A: Risk Değerlendirmesi
Emniyet Gereksinimleri	B: Emniyet Gereksinimleri
Emniyet Gereksinimleri İle Uyumluluğun Gösterimi	C: Hazard Kontrol



Şekil 4. CSM-RA ve kum saati modeli arasındaki ilişki

Risk analizi aşamasında, ilgili riskin kabul prensibi için “Açık (Ayrıntılı) Risk Tahmini” (Şekil 2) seçilebilir. Bu risk kabul prensibi seçildiğinde emniyet önemi olarak, emniyetli bir tasarım ve fonksiyon geliştirmek gereklidir. Eğer kazalar, emniyet önemi olarak tasarlanan ve E/E/PE (Elektrik/Elektronik/Programlanabilir Elektronik) sistemlerinden oluşan emniyet fonksiyonlarının arızaları sonucunda meydana gelirse, CSM-RA Yönetmeliği ve CSM-DT Rehberi uyarınca uyumlaştırılmış tasarım hedefleri uygulanacaktır ve bu tasarım hedefleri, doğrudan kazaya neden olan ilgili E/E/PE fonksiyonu için EN 50126-1’de belirtilen Tolere Edilebilir Fonksiyonel Hata Oranı (TFFR) olarak kabul edilecektir. DT ve TFFR tanımları fonksiyonel emniyet gereksinimlerini ifade eder.

Aşağıdaki tablo, CSM-RA Yönetmeliği uyarınca belirlenen tasarım hedeflerini ve EN 50129 ile EN 50126-2 standartlarına göre E/E/PE emniyet fonksiyonları için DT, TFFR ve SIL ilişkisini göstermektedir:

**Tablo 2.** Tasarım hedefleri (DT), TFFR ve SIL ilişkisi[3][4][5][6]

TFFR	SIL	DT Tipi	Tasarım Hedefi (DT)
$10^{-9} \leq \text{TFFR} < 10^{-8}$	4	Uyumlaştırılmış	$\text{DT} \leq 10^{-9}$
$10^{-8} \leq \text{TFFR} < 10^{-7}$	3	(karşılığı yok)	(karşılığı yok)
$10^{-7} \leq \text{TFFR} < 10^{-6}$	2	Daha Az Talepkâr	$\text{DT} \leq 10^{-7}$
$10^{-6} \leq \text{TFFR} < 10^{-5}$	1	(karşılığı yok)	(karşılığı yok)
$\leq 10^{-5}$	Temel Bütünlük	(karşılığı yok)	(karşılığı yok)

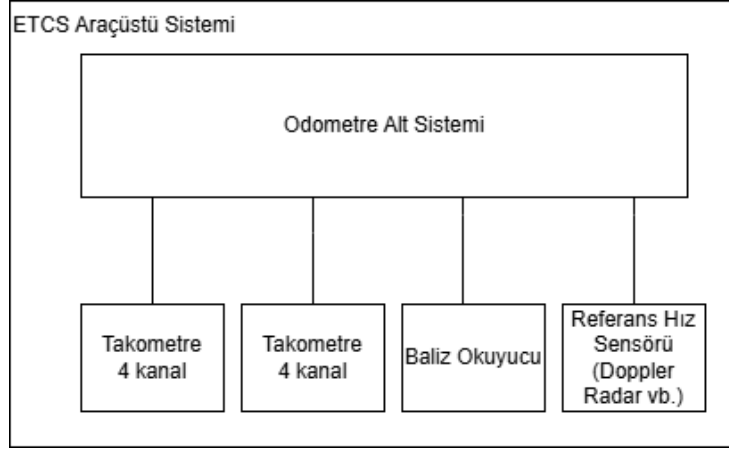
## 5. Emniyet Yönetimi Uygulaması

ETCS Araçüstü Sistemi ve alt sistemleri gibi bazı sistemler geliştirilir ve uygulanırken Avrupa Birliği mevzuat ve düzenlemeleri dikkate alınmalıdır. Bu çalışma da, ETCS (Avrupa Tren Kontrol Sistemi) Araçüstü Sistemi fonksiyonu olan Odometre Fonksiyonu için EN 50126-1 Standardı ve CSM-RA 402/2013/EU düzenlemesine göre emniyet yöntemi uygulanması ele alınacaktır.

### 5.1. ETCS sistemi ve odometre fonksiyonu için sistem tanımlama

ETCS Araçüstü Sistemi'nin ana alt sistemleri EVC (Avrupa Hayati Bilgisayarı), TIU (Tren Arayüz Ünitesi), BTM (Baliz İletim Modülü), GSM-R Veri Modülü, Odometre Sistemi, DMI ve JRU'dur. EVC emniyet açısından kritik fonksiyonları yerine getirecektir. EVC, TIU, BTM, GSM-R Veri Modülü, Odometre Sistemi ve DMI (Sürücü-Makine Arayüzü) alt sistemlerine ve arayüzlere sahip olacaktır [7]. Bu fiziksel sistem öğeleri ile birlikte gerçekleştirilen ETCS Araçüstü Sisteminin fonksiyonlarından biri odometre fonksiyonudur. Odometre fonksiyonu, trenin anlık hızını ve kat edilen mesafeyi yüksek bütünlükle hesaplayarak EVC'ye sağlamaktır. Böylece EVC, hareket izinlerinin hesaplanması (Movement Authority), konum denetimini ve emniyetli fren eğrilerinin oluşturulması gibi diğer emniyet-kritik fonksiyonlarını gerçekleştirebilir.

Odometre Alt Sistemi ve Odometre Fonksiyonu için Şekil 5'te temsili sistem mimarisi ve bileşenleri gösterilmiştir. Tüm sistem tanımı EN 50126-1 Standardı Bölüm 7.3 ve EK D'sine ve CSM 402/2013 Düzenlemesi Bölüm 2.1.2'ye göre yapıldığı varsayılmıştır.



Şekil.5 Sistem mimarisi ve bileşenleri [9]

### 5.2. Risk analizi ve risk derecelendirme

EN 50126-1 Standardı ve CSM 402/2013/EU Düzenlemesi, risklerin, tüm yaşam döngüsü boyunca analiz edilmesini ve emniyet hedeflerinin belirlenmesini zorunlu kılar. Bu standart ve düzenleme risklerin sistematik olarak tanımlanmasını, hazardların sınıflandırılmasını, kontrol önlemlerinin uygulanmasını ve risk kabul kriterlerinin seçilmesi şart koşar ve uygulanacak yöntemi açıklar.

Odometre fonksiyonu için hazardın belirlenmesi, sınıflandırılması ve riskin değerlendirilmesine dair örnek çalışma Tablo 3’de ele alınmıştır. Risk Değerlendirmesinde EN 50126-1’de önerilen risk matrisi kullanılmıştır.

**Tablo 3.** Risk değerlendirme

Hazard (Demiryolu Sistemi Seviyesinde)	ETCS'ye bildirilen emniyetli hızın veya mesafenin aşılması.
Hazard Nedeni	- Hız ölçümü, trenin gerçek hızını olduğundan düşük ölçüyor. - Gerçek hız ve pozisyonun yanlış belirlenmesi
Risk Altındaki Kişi ve Gruplar	Sürücü / Personel / Yolcu ve Savunmasız Diğer İnsanlar
Başlangıçta Gözlenen Sıklık	Olanaksız ( $10^{-8}$ )
Başlangıçta Gözlenen Şiddet	Felaket
Başlangıçta Gözlenen Risk	Kabul Edilemez
Risk Kabul Prensibi	Açık (Ayrıntılı) Risk Tahmini (Tekniğin Bilinen Kuralları)
Risk Azaltım Önlemleri	Risk Önlemi 1: Odometre sistemi hata ve tutarlılık kontrolünü sağlayarak yüksek emniyet ve güvenilirlikte mesafe ölçümü sağlamalıdır. RKP: Açık Risk Tahmini Risk Önlemi 2: Odometre sistemi hata ve tutarlılık kontrolünü sağlayarak yüksek emniyet ve güvenilirlikte hız ölçümü sağlamalıdır. RKP: Açık Risk Tahmini

Artık Sıklık	Son Derecek Olanaksız ( $10^{-9}$ )
Artık Şiddet	Felaket
Artık Risk	Kabul Edilebilir
Uygulanacak E/E/PE Emniyet Fonksiyonları	Fonksiyon 1: Odometre Fonksiyonu (Mesafe Ölçümü Alt Fonksiyonu) Fonksiyon 2: Odometre Fonksiyonu (Hız Ölçümü Alt Fonksiyonu)
Arızanın meydana gelmesi doğrudan kaza türüne yol açar/yol açabilir mi?	Doğrudan (Uyumlaştırılmış)
Tasarım Hedefi (DT)	$DT \leq 10^{-9}$
TFFR	$10^{-9} \leq TFFR < 10^{-8}$
Karşılık Gelen SIL Seviyesi	SIL 4

### 5.3. Emniyet gereksinimleri

EN 50126-1 Standardı ve CSM 402/2013/EU Düzenlemesi kapsamında yürütülen risk değerlendirmesi sonucunda tanımlanan her hazard için, söz konusu riski kontrol altına alacak uygun emniyet önlemleri ve risk kabul kriterleri açık biçimde tanımlanmıştır. Bu çerçevede türetilen emniyet gereksinimleri, yalnızca hazardı ortadan kaldırmakla kalmamalı, aynı zamanda sistemin fonksiyonel bütünlüğünü ve tutarlılığını da koruyacak şekilde yapılandırılmalıdır. Tablo 3’de gerçekleştirilen Risk Değerlendirme çalışmasından türetilen örnek gereksinimler Tablo 4’te listelenmiştir.

**Tablo 4.** Emniyet gereksinimleri

KN	Fonksiyonel Emniyet Gereksinimi
G-1	Odometre Fonksiyonu, SIL 4 gerekliliklerini karşılayan mesafe ölçümü alt fonksiyonunu sağlayacaktır.
G-2	Odometre Fonksiyonu, SIL 4 gerekliliklerini karşılayan hız ölçümü alt fonksiyonunu sağlayacaktır.
KN	Teknik Emniyet Gereksinimi
G-3	ETCS Araçüstü Sistemi, trenin sabit bir mesafe boyunca hareketi sırasında yapılan ölçümlerde eksik ve fazla ölçüm değerlerinin ayrı ayrı birikimine dayanarak odometre doğruluğunu izlemelidir [8].

### 5.4. Hazard kontrolü

Bölüm C’de belirtilen gereksinimlere uygun olarak, hedeflenen fonksiyon SIL 4 seviyesindeki emniyet bütünlüğünü sağlayacak şekilde tasarlanmalıdır. Fonksiyonel arızalara yol açabilecek risklerin tespiti ve bertarafı amacıyla nedensel analiz (causal analysis), ortak neden analizi (common cause analysis), hata ağacı analizi (FTA) ve hata türü ve etkileri analizi (FMEA/FMECA) gibi sistematik emniyet analizleri gerçekleştirilmelidir.

Tasarım sürecinde, EN 50126-1, EN 50126-2, EN 50129 ve EN 50716 standartlarında SIL 4 için tanımlanan teknik gereksinimler ve tasarım ilkeleri eksiksiz biçimde uygulanmalıdır. Benzer şekilde, üretim, entegrasyon ve sistem geçirme aşamalarında da ilgili emniyet görevleri tanımlanarak uygun mühendislik kontrolleri yürütülmelidir.

Sistem validasyonu tamamlandıktan sonra, elde edilen tüm doğrulama ve geçerleme kanıtları kullanılarak bir Emniyet İspat Dosyası (Safety Case) hazırlanmalıdır. Bu belgeye ilişkin kanıtlar, EN 50126-2 Madde 6.2 doğrultusunda yapılandırılmalı ve izlenebilir şekilde belgelendirilmelidir.

## 6. Sonuç

Bu makale, ETCS Araçüstü Sistemi Odometre Fonksiyonu için EN 50126-1 ve CSM-RA 402/2013/EU Düzenlemesine göre emniyet yönetiminin nasıl yapılacağına odaklanmaktadır. Bu çalışmada, RAMS Yönetimi ve Ortak Emniyet Yöntemleri başlıkları altında tanımlanan emniyet yönetimi faaliyetleri ortaklaştırılarak, standart ve düzenlemenin bir arada uygulanmasını sağlayacak emniyet yönetimi açıklanmıştır. EN 50126-1’de tanımlanan sistem yaşam döngüsünün, EN 50126-2’de açıklanan kum saati modelinin ve CSM-RA sürecinin örtüştüğü noktalar, farklılıklar açıklanmış ve detaylara referans gösterilmiştir. Emniyet yönetiminin bu şekilde uygulanması ile hem Avrupa Birliği mevzuat ve düzenlemelerine uyum sağlanmış hem de küresel olarak tanınan standart gereksinimleri karşılanmış olacaktır. Bu çalışmada, anlatılan emniyet yönetimi çerçevesinde ETCS alt sistemi olan odometre alt sistemi, odometre fonksiyon ve alt fonksiyonlarına ilişkin risk değerlendirmesi yapılmış ve gereksinimler belirlenmiştir. Bu çalışmada anlatılan emniyet yönetimi ve tasarım yönlendirmesinin demiryolu emniyetine katkı sunması amaçlanmıştır.

## Teşekkür

Bu çalışmanın tamamlanmasında bize destek olan ASELSAN’a ve RAGEM’e içten şükranlarımızı sunmak isteriz.

## Kaynakça

- [1] EN 50126-1:2017+A1:2024, Railway applications — The specification and demonstration of Reliability, Availability, Maintainability and Safety (RAMS), Part 1: Generic RAMS process
- [2] EN 50126-2:2017+A1:2024, Railway applications — The specification and demonstration of Reliability, Availability, Maintainability and Safety (RAMS), Part 2: Systems approach to safety
- [3] EN 50129:2018, Railway applications - Communication, signalling and processing systems – Safety related electronic systems for signalling
- [4] COMMISSION IMPLEMENTING REGULATION (EU) No 402/2013 of 30 April 2013 on the common safety method for risk evaluation and assessment and repealing Regulation (EC) No 352/2009
- [5] Guide for the application of the Commission Regulation on the adoption of a common safety method on risk evaluation and assessment as referred to in Article 6(3)(a) of the Railway Safety Directive, 1.1., 06/01/2009
- [6] Guideline for the application of harmonised design targets (CSM-DT) for technical systems as defined in (EU) Regulation 2015/1136 within the risk assessment process of Regulation 402/2013, 1.1., 18/05/2017
- [7] SUBSET-026-2, System Requirements Specification Chapter 2 Basic System Description, 05/07/2023, 4.0.0
- [8] SUBSET-026-3, System Requirements Specification Chapter 3 Principles, 05/07/2023, 4.0.0
- [9] Aselsan Dergi, Sayı 117, Ekim 2023, Sayfa 192-195
- [10] EN 50716:2023, Railway Applications — Requirements for software development

## Özgeçmiş

**Murat BALABAN**

Lisans ve yüksek lisans eğitimini Ortadoğu Teknik Üniversitesi Makine Mühendisliği Bölümünde tamamlamıştır. 25 yıldan fazla süredir sistem mühendisliği alanlarında çalışmıştır. 2019 yılından bu yana ASELSAN UGES Sektör başkanlığında RAMS ve Sistem Mühendisliği alanlarında çalışmaktadır.

E-Posta: mbalaban@aselsan.com

**Kemal Faruk DOĞAN**

Lisans eğitimini Karabük Üniversitesi Raylı Sistemler Mühendisliği Bölümünde tamamlamıştır. 8 yılı aşkındır özel sektörde demiryolu ve otomotiv alanlarında RAMS ve fonksiyonel emniyet alanında çalışmaktadır. İlgi alanına giren araştırma konular raylı sistemler, otomotiv, RAMS, fonksiyonel emniyet ve siber güvenlik risk yönetimi alanlarıdır

E-Posta: kemaldogan@ragem.tr

**Sultan GÜNDÜZ**

Lise eğitimini Eskişehir Atatürk Anadolu meslek Lisesi'nde, lisans eğitimi Karabük Üniversitesinde tamamlamıştır. Yüksek lisans eğitimini de Eskişehir Teknik Üniversitesi'nde tamamlamıştır. 2018-2023 yıllarında Savronik'te Sinyalizasyon Sistemleri Mühendisi olarak çalışmıştır 2023 yılından bu yana Aselsan'da Sistem Tasarım ve RAMS Mühendisi olarak çalışmaktadır. İlgi alanına giren araştırma konuları raylı sistemler sinyalizasyon emniyet ve güvenlik alanlarıdır.

E-Posta: sultangunduz@aselsan.com

**Abdullah TUNÇEZ**

Lisans eğitimi Ortadoğu Teknik Üniversitesi Makine Mühendisliği bölümünde tamamlamıştır. 2019'dan bu yana kalite güvence mühendisliği, RAMS mühendisliği alanlarında çalışmaktadır. İlgi alanına giren araştırma konuları raylı sistemler, kalite güvence, emniyet ve güvenilirlik alanlarıdır

E-Posta: abdullahtuncez@aselsan.com

**Beyanlar:**

Bu makalede bilimsel araştırma ve yayın etiğine uyulmuştur.

Yazarların katkıları: Murat BALABAN: Doğrulama. Kemal Faruk DOĞAN: Kavramsallaştırma, Metodoloji, Örnek Çalışma. Sultan GÜNDÜZ: Sistem Mühendisliği, Yazma-orijinal taslak hazırlama. Abdullah TUNÇEZ: Kaynaklar, Yazma-gözden geçirme ve düzenleme.