

RAYLI SİSTEMLERDE SİNYALİZASYON: NEDEN? NASIL?

Prof. Dr. M. Turan Söylemez
İTÜ Elektrik-Elektronik Fakültesi
Kontrol ve Otomasyon Mühendisliği Bölümü

Bilindiği üzere raylı sistemler kendilerine has bir takım özelliklerinden dolayı en önemli toplu ulaşım modları arasında yer almaktadır. Raylı sistemleri alternatiflerinden ayıran önemli özellikler arasında, konforlu bir ulaşım imkânı sunmaları, şehirlerarası yolculukta havayollarının aksine doğrudan şehir merkezleri arasında yolculuk sağlamaları, rakiplerine göre çok daha ekonomik ve enerji etkin olmaları, bununla bağlantılı olarak daha çevresel bir ulaşım yöntemi olmaları, yolculukların planlı ve tam zamanında yapılması ve daha güvenli olmaları sayılabilir.

Neden Sinyalizasyon?

Hiç şüphesiz demiryollarını karayollarından ayıran özelliklerin başında demiryollarında araçların daha önceden döşenmiş olan rayların üzerinde hareket ediyor olmaları gelir. Bunun iki doğal sonucu vardır. Birincisi, raylı sistemlerde araçlar kılavuzlanmış bir şekilde raylar üzerinde hareket ettiklerinden istedikleri şekilde manevra yapamazlar. Bir başka deyişle rayların götürdüğü yere gitmeye mahkûmdurlar. Raylar üzerinde hareket etmenin ikinci doğal sonucu ise araç tekerlekleri ile yol arasında karayollarına göre çok daha düşük (yaklaşık olarak 10 kat daha küçük) bir sürtünme katsayısının söz konusu olmasıdır. Bu hem iyi bir şeydir, hem de kötü. İyi bir şeydir, çünkü düşük sürtünme katsayısı, araç üzerine aracın hızı ile yaklaşık doğrusal olarak etkimekte olan sürtünme kuvvetinin aynı oranda daha düşük olması ve bunun sonucu olarak daha düşük enerji tüketimi anlamına gelir. Bunun bir sonucu olarak (elektrikli raylı sistemlerde frenleme yapan araçların enerjisini o anda hatta bulunan ve enerji talep eden diğer araçlara aktarmasını sağlayan rejeneratif frenleme sisteminin de önemli katkılarıyla) raylı sistemler karayolları ve havayollarına göre çok daha enerji etkin bir çözüm sunarlar. Düşük sürtünme katsayısı aynı zamanda kötü bir şeydir, çünkü, bunun bir sonucu olarak raylı sistem araçlarının sağlayabileceği frenleme ivmeleri (yaklaşık 10 kat kadar) düşer. Bu da karayollarıyla kıyaslandığında 10 kata varan daha uzun fren mesafeleri anlamına gelmektedir. Tam hızla giden bir raylı sistem aracının acil bir durumda durması için gereken mesafe çoğu zaman kilometreler ile ifade edilir. Yüksek hızlı bir tren için hat geometrisine

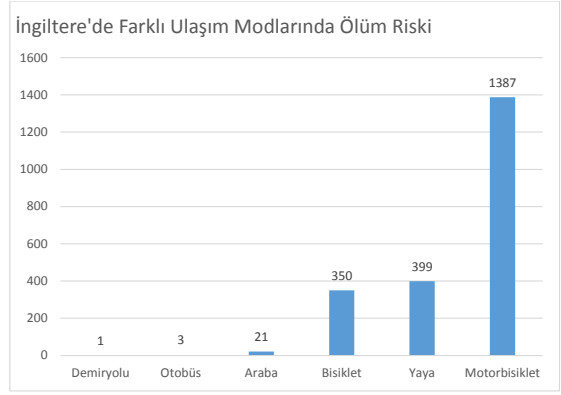
bağlı olarak bu mesafe 6-7 kilometreyi bulabilmektedir. Tren sürücüsünün birkaç yüz metreden ötesini sağlıklı bir şekilde görmesinin çok zor olduğu düşünülürse, çoğu zaman (görerek sürüş adı verilen ve genelde tren hızlarının 30 km/saatten küçük olduğu sürüş modu dışında) raylı sistem araçlarının sürücülerinin görüş mesafesinin çok daha ötesindeki fren mesafelerine karşı düşen hızlarda hareket etmeleri söz konusudur.

İlk bakışta bir engelle karşılaştığında manevra şansı bulunmayan ve sürücülerinin yolları üzerindeki bir engeli aracın fren mesafesinden önce görme şansı olmayan raylı sistem araçları ile yolculuk etmenin güvensiz olduğu düşünülebilir. Ancak, buna rağmen raylı sistemler, yolcularına son derece güvenli bir ulaşım imkânı sunmakta ve en güvenli (bazı ülkelerde havayolundan sonra ikinci güvenli) ulaşım modu olarak ortaya çıkmaktadırlar. Peki ama nasıl oluyor da raylı sistemler güvenlik açısından diğer ulaşım modlarına göre daha öne çıkmaktadır? Bu soruya yanıt arandığında bunun başlıca nedeninin raylı sistemlerde kullanılan son derece katı işletme prensipleri ve belirli bir trafik yoğunluğundan sonra kullanılması kaçınılmaz olan sinyalizasyon sistemleri olduğu ortaya çıkmaktadır.

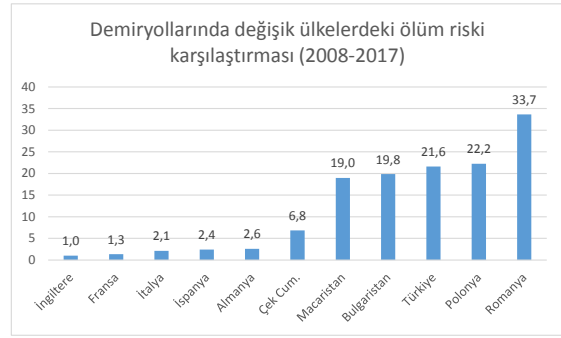
Raylı sistemlerde güvenlik konusundaki temel prensip yolcuların en az evlerindeki kadar (bazı durumlarda daha fazla) güvenli bir ortamda seyahat etmelerini sağlamaktır. Gelişmiş ülkeler bu konuda son derece iyi bir konumda bulunmaktadır. Örnek olarak İngiltere’de 2007 yılından beri tren çarpışması veya trenin raydan çıkması sonucu ölüm yaşanan bir kaza görülmemiştir [1-2]. Diğer kazalar sonucu raylı sistem yolcularının ölüm sayısı son on sendir ortalama senede 5 kişi, yolcu olmayan diğer insanlar (hemzemin geçit kullanıcısı veya izinsiz şekilde raylı sistem hattına giren kişiler gibi) için bu oran senede 43 kişidir. İngiltere’de raylı sistem ağının son derece yaygın olduğu ve sadece raylı sistemlerde intihar sonucu ölen kişi sayısının son on senelik ortalamasının senede 246 kişi olduğu düşünülürse, verilen rakamların kazalar açısından son derece güvenli bir seyahat modunu gösterdiği görülmektedir [3-4]. Şekil 1’den görüleceği üzere İngiltere’de demiryol-

larında seyahat ederken ölme riski, otobüs ile seyahat etmeye göre 3, araba ile seyahat etmeye göre 21 kat daha düşüktür.

Türkiye açısından da farklı ulaşım modları arasındaki karşılaştırmalarda risklerin benzer oranlarda olduğu görülmektedir. Ancak, Türkiye’de karayolu ve demiryolu ulaşımı gelişmiş ülkelere göre çok daha risklidir. Şekil 2’de bazı ülkelerde 2008-2017 yılları arasında yaşanan demiryolu kazalarında yolcu kilometre bazında ortalama ölüm sayılarının karşılaştırılması verilmiştir. Bu şekilden de görüleceği üzere Türkiye’de demiryollarındaki ölüm riski Macaristan, Bulgaristan ve Polonya gibi ülkelere yakın, ancak İngiltere, Fransa, İtalya, İspanya ve Almanya gibi Avrupa’nın gelişmiş ülkelerine göre ise çok daha (10-20 kat) fazladır. Türkiye’deki durum biraz daha yakından incelendiğinde sinyalizasyon sistemlerinin önemi daha net bir şekilde ortaya çıkmaktadır. Tablo 1’de Türkiye’de 2008-2017 yılları arasında demiryolu ağının toplam uzunluğu, bu hatlar içinde sinyalizasyon sistemine sahip olan hatların toplam uzunluğu ve bunların oranı, demiryolu kazalarında ölüm sayıları ve milyar yolcu kilometre başına ölüm bilgisi verilmiştir. Bu tablodan görüleceği üzere son senelerde toplam hat uzunluğunun artmış olmasına rağmen demiryollarında kaza sonucu ölümlerde gözle görülür bir azalma söz konusudur. Bunun en önemli sebebi hiç şüphesiz sinyalizasyon bulunan hatların kayda değer şekilde artmasıdır. Dahası, demiryolu kazalarının ayrıntısı incelendiğinde kazaların çok büyük bir kısmının sinyalizasyonu yapılmamış bölgelerde meydana geldiği görülmektedir.



Şekil 1. İngiltere’de farklı ulaşım modları için ölüm riski (yolcu km bazında demiryollarına göre normalize edilmiştir) [1]



Şekil 2. Bazı ülkelerde 2008-2017 yılları arasında yaşanan demiryolu kazalarında yolcu kilometre bazında ortalama ölüm sayılarının karşılaştırılması (İngiltere verilerine göre normalize edilmiştir) [5]

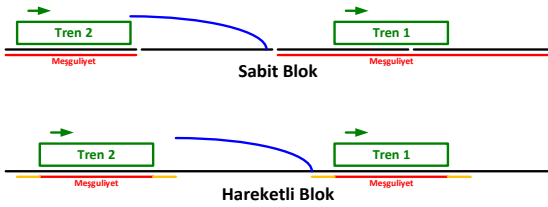
Tablo 1. Türkiye’de toplam ve sinyalli demiryolu uzunlukları ile demiryolu kazalarında ölüm sayılarının 2008-2017 yılları arasında değişimi [5,6].

Yıl	Toplam Hat [km]	Sinyalli Hat [km]	Sinyalli hat oranı [%]	Kazalarda Ölüm Sayısı	Ölüm Sayısı (1/Milyar Yolcu km)
2008	11005	3029	28%	111	21,78
2009	11405	3417	30%	89	16,56
2010	11940	3908	33%	69	12,57
2011	12000	3908	33%	71	12,07
2012	12008	4016	33%	55	11,96
2013	12097	4035	33%	45	11,98
2014	12485	4412	35%	65	14,80
2015	12532	4578	37%	50	10,36
2016	12532	5462	44%	81	18,73
2017	12608	5534	44%	40	8,76

*Not: Yazı hazırlanırken 2018 yılına ait istatistikler henüz ilan edilmediğinden 2017 yılına kadar olan veriler kullanılmıştır.

Temel Sinyalizasyon Mantığı

Demiryolu sinyalizasyonu trenlerin çarpışmasını ve devrilmesini engellemek amacıyla demiryolu trafiğini güvenli bir şekilde kontrol eden kural ve sistemler bütünü olarak tanımlanabilir. Sinyalizasyon sistemlerinin ayrıntıları ülkeden ülkeye, bölgeden bölgeye ve sistemi kuran firmaya bağlı olarak değişiklikler gösterebilmektedir. Ancak, temel sinyalizasyon prensipleri bütün dünyada hemen hemen aynıdır. Bu prensiplerden en önemlisi hiç kuşkusuz blok sinyal prensibidir. Tarihçesi demiryollarının varlığıyla eşzamanlı olan sinyalizasyon sistemlerinde 19. yüzyılın sonlarından itibaren kullanılmakta olan blok sinyal prensibine göre demiryolu bloklara ayrılır ve normal işletme koşullarında bir blokta sadece bir trenin bulunmasına izin verilir. Bloklara giriş ve çıkışlar ise trenlere hareket yetkisi veren sinyaller ile düzenlenir. Bu şekilde bir tren sürücüsü fren mesafesindeki olası engelleri göremese bile teknik olarak boş olduğu garanti altına alınmış bir bloğa giriş yetkisi veren bir sinyali gördükten sonra o bloğun sonuna kadar önüne bir engel çıkmayacağını bilerek aracı sürer. Pek çok sistemde sinyalizasyon blokları önceden belirlenmiş sabit bloklar olup bu tür sistemler sabit bloklu sistemler olarak adlandırılmaktadır. Teknolojinin gelişmesi ve raylı sistemlerden beklentilerin artmasının bir sonucu olarak öndeki trenin konumuna ve trenin hız ve konumu ile hat geometrisi gibi değişik parametrelere bağlı olarak uzunluk ve konumları sürekli olarak değişen bloklardan oluşan hareketli (kayan) bloklu sinyalizasyon sistemleri de söz konusudur (bkz Şekil 3).

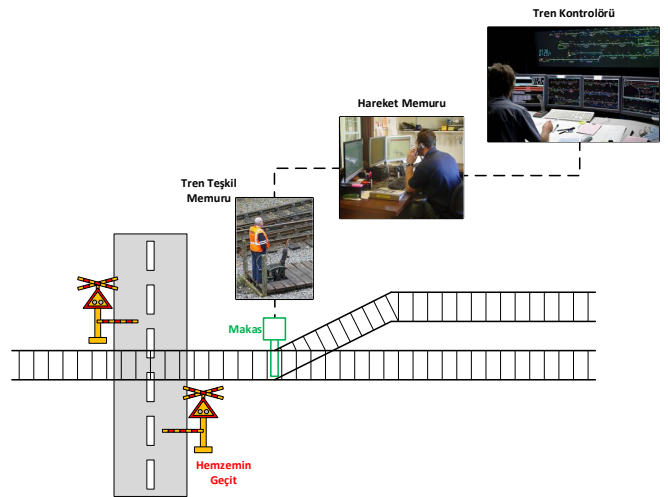


Şekil 3. Sabit Blok ve hareketli blok

Raylı Sistemlerde Trafik Yönetimi

Raylı sistemlerde trenlere hareket yetkisinin aktarılması iki temel yöntem ile yapılmaktadır. Bunlardan birincisi Trafiğin Telefonla Merkezden İdaresi anlamına gelen TMİ yöntemiştir. Bu yöntemde merkezde bulunan dispeçer adı da verilen tren kontrolörü, trafiğin genel anlamda akışından sorumludur ve istasyon bölgelerinde bulunan hareket memurları ile temasa geçerek trenlerin genel hareketleri hakkında bilgi alışverişinde bulunur. İstasyon bölgesindeki trenlerin sevk ve idaresinden sorumlu olan hareket memurları ise hangi trenin istasyon bölgesinde

hangi yolları kullanacağına karar vererek makasların konumlarını değiştirmekten de sorumlu olan tren teşkil memurları ile iletişime geçerek bölgesindeki trenler için yolların uygun bir şekilde kurulmasını sağlarlar (bkz. Şekil 4). Yapısından da hemen anlaşılacağı üzere TMİ yöntemi insan hatasına açık bir yöntemdir ve dispeçer, hareket memuru ve/veya tren teşkil memurlarının yapacağı hatalar kazalara sebep olabilmektedir. İnsan hatalarını telafi etmeye yönelik herhangi bir teknik önlem içermediğinden TMİ yönteminin kullanıldığı hatlar sinyalsiz olarak adlandırılmaktadır. Trafik yoğunluğunun az olduğu gün içinde çok fazla makas konum değişimine ihtiyaç duyulmayan ve trenlerin nispeten düşük hızlarda seyrettiği hatlarda TMİ yöntemi hala kullanılmaya devam etmektedir. Ancak, hatlardaki trafik yoğunluğunun artmasıyla TMİ yöntemindeki olası insan hatası riski çok hızlı bir şekilde (üstel olarak) artmaktadır. Onun için belirli bir noktadan sonra trenlere hareket yetkisinin aktarılması için ikinci temel yöntem olan TSİ (Trafiğin Sinyalizasyon ile İdaresi) yöntemi kaçınılmaz olmaktadır. Bu yöntemde bir sinyalizasyon sistemi yardımıyla hat üzerindeki trenlerin güvenli bir şekilde hareket etmeleri sağlanır. Bu amaçla kullanılmakta olan değişik tiplerde sinyalizasyon sistemleri mevcut olmakla birlikte bu sistemlerin temel yapıları benzerdir.



Şekil 4. TMİ: Trafiğin Telefonla Merkezden İdaresi

Standartlar

Raylı sistemlere yönelik sinyalizasyon sistemlerinin geliştirilmesi, kurulması ve kullanımı sırasında standartlar çok önemli bir yer tutmaktadır. Bu standartlar arasında en önemlileri IEC 61508 şemsiye standardına dayanarak üretilmiş olan ve raylı sistem sektörünü hedef alan 50126, 50128, 50129 ve 50159 nolu CENELEC (Comité Européen de Normalisation

Électrotechnique) standartlarıdır. Bu standartlardan EN 50126 standardı bir raylı sistemin veya bunun bir alt sisteminin planlaması, tasarımı, gerçekleşmesi, test edilmesi, doğrulanması, bakımının yapılması ve işi bittiği zaman ortadan kaldırılmasını içeren bütün hayat döngüsü boyunca yapılması gerekenleri ayrıntılı bir şekilde tarif eder. Bu bağlamda karşımıza çıkan önemli kavramlardan bir tanesi Güvenilirlik (Reliability), Emre Amadelik (Availability), Bakım Yapılabilirlik (Maintainability) ve Emniyet (Safety) kavramıdır. Karşı düşen İngilizce kelimelerin baş harfleri kullanılarak kısaca RAMS adı verilen bu kavram yardımıyla bir sistemin emniyeti ve kullanılabilirliği hakkında detaylı analizler yapmak mümkündür. Burada emre amadelik bir sistemin verilen bir zamanda veya zaman diliminde kendisinden beklenen bir fonksiyonu yerine getirme özelliği olarak tanımlanır ve genelde bir olasılık değeri olarak ifade edilir. Örneğin, emre amadelik %99,998 olarak verilen bir sistem her 100.000 saatte ortalama 2 saat boyunca kendisinden bekleneni yapamaz bir durumda (kapalı/bozuk) kalır, bunun dışındaki sürelerde fonksiyonlarını eksiksiz bir şekilde yerine getirir. Emre amadelik değerinin belirlenmesinde sistemin güvenilirlik ve bakım yapılabilirlik değerleri kullanılır.

RAMS'in en önemli parçaları arasında yer alan emniyet, olası teknik arızalara ve istemsiz insan hatalarına karşı fonksiyonel emniyet anlamına gelmektedir. Emniyetin sağlanması amacıyla raylı sistemlerde kullanılan ekipmanların hemen hepsi hatada emniyetli (fail-safe) olacak şekilde tasarlanır. Yani bu ekipmanlar bir özkontrol (diyagnoz) sistemi yardımıyla hata durumuna düştiklerini anlarlar ve kendilerini (giriş ve çıkışlarını) emniyetli duruma geçirirler. Raylı sistemler için emniyetli durum genelde ışıkların kırmızı (dur) bildirimi vermesi, trenlerin durması, hemzemin geçitlerin bariyerlerinin kapanması ve makasların konumlarını korumaları olarak düşünülebilir. Aslında bu durumu teknik olarak sağlamak zor değildir. Ancak, bu durumda sistemin emre amadelik sıfır olmaktadır. Asıl problem bir yandan fonksiyonel emniyeti sağlarken bir yandan da emre amadelik çok yüksek oranlarda sağlayabilmektir. Bu amaçla sinyalizasyon sistemlerinde kullanılan alt sistem ve ekipmanların önemli bir kısmı yedeklilik (redundancy) prensibine uygun olarak çalışır. Sistemin bir noktasında arıza meydana gelse bile çoğu zaman arıza tespit edilerek arıza oluşan parça devre dışına alınır, parça değiştirilene kadar, o parçanın çalışmayı anında devralan (sıcak) yedekleri üzerinden sistem kesintisiz ve güvenli olarak çalışmaya devam eder.

Bilindiği üzere mühendislikte sıfır hata diye bir şey yoktur. Haliyle bütün mühendislik sistemleri gibi sinyalizasyon sistemleri de hata yapabilirler. Ancak, sinyalizasyon sistemlerinin tehlikeli bir hataya düşme olasılıkları dikkatli bir şekilde hesaplanmıştır.

Bu amaçla EN 50128 ve EN 50129 standartlarında tanımlanmış olan emniyet bütünlüğü seviyesi (safety integrity level) anlamına gelen SIL seviyeleri kullanılmaktadır. Raylı sistemler için SIL 1 ile SIL 4 arasında 4 adet emniyet bütünlüğü seviyesi tanımlanmıştır. Standartlarda bu seviyeler bir saatte sistemin tehlikeli bir hataya düşme olasılığı olarak verilmiştir. Ancak, akılda kalma kolaylığı açısından yaklaşık olarak SIL 1 sistemin her 10 senede ortalama 1 kez tehlikeli hataya düşeceği, SIL 2 sistem için bu durumun her 100 senede ortalama 1 kez olacağı, SIL 3 sistem için 1000 yıl, SIL 4 sistem için ise 10000 yıldan daha uzun sürelerde bir defa tehlikeli hata oluşma olasılığı olduğu söylenebilir. Raylı sistemlerde kullanılan sinyalizasyon sistemleri genelde SIL 3 ve çoğu zaman SIL 4 emniyet bütünlüğü seviyesine sahiptirler. Yani bu sistemlerin kendilerinden kaynaklanan bir nedenle insan hayatını tehlikeye sokacak bir durum oluşturma ihtimalleri genelde 10000 yılda bir civarındadır.

Raylı sistemlerde kullanılacak elektrik, elektronik, programlanabilir ve lojik donanımların tasarımlarının nasıl yapılacağına ilişkin yönlendirmeler EN 50129 standardında mevcuttur. Bu tür donanımlara ilişkin SIL seviyeleri hesaplanırken sistemi oluşturan tüm alt sistem ve parçalar ve bunların birbiriyle ilgisi incelenerek olasılık analizleri (örneğin Markov analizi) kullanılarak sistemin hataya düşme olasılığı hesaplanır. Ancak, bu donanımlar üzerinde koşan yazılımlara ilişkin SIL seviyesini olasılık analizleri ile hesaplamak mümkün değildir. Bunun yerine bu tür yazılımların geliştirilme süreçlerinin nasıl olması gerektiği EN 50128 standardında ayrıntılı bir şekilde açıklanmıştır. Mümkün olduğunca hatasız bir yazılım oluşturulması, oluşan hataların etkin bir şekilde tespit edilmesi ve tespit edilemeyen hataların çeşitli teknikler kullanılarak çalışma sırasında giderilmesi amacıyla standart pek çok teknik önermektedir. Çok fazla miktarda dokümantasyon ve ayrıntılı bir çalışma gerektiren bu çalışma son derece meşakkatlidir.

Sinyalizasyon Sistemleri

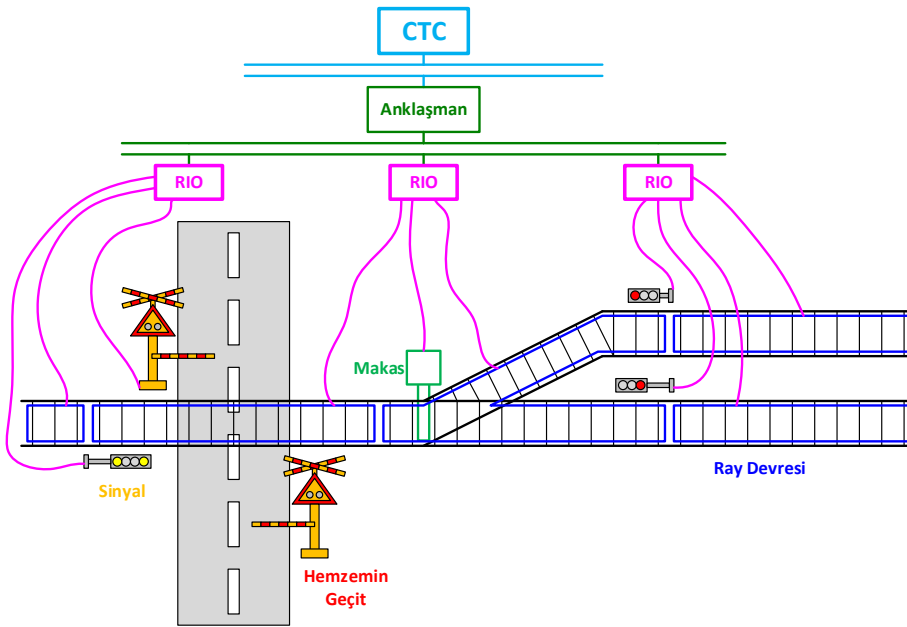
Sinyalizasyon sistemleri uygulamaya bağlı olarak değişiklik gösterse de temel yapı Şekil 5'te gösterildiği gibi olup hemen hemen tüm uygulamalarda benzerdir. TMI'ye benzer şekilde TSI'de de hatadaki bütün trenlerin hareketinden trafik kumanda merkezinde bulunan dispeçer sorumludur. Ancak, burada dispeçer, trenlerin hareketine ilişkin komutları hareket memurlarına iletmez. Bunun yerine merkezi trafik kontrol (centralized traffic control-CTC) adı verilen bir sistem üzerinden komutlarını sinyalizasyon sistemine iletir ve yine aynı sistem üzerinden hat üzerindeki bütün araçların hareketlerini takip edebilir. Dispeçer tarafından

verilen komutlar CTC tarafından anlaşılan (interlocking) adı verilen ve sinyalizasyon sisteminde emniyetin en önemli parçası olarak sayılan sisteme iletilir. Anlaşılan CTC üzerinden kendisine iletilen komutları değerlendirerek sahanın durumuna bağlı olarak sadece güvenli bulunduğu komutları kabul ederek sahaya uygular. Yapısı gereği anlaşılan karşılıklı kilitlemeler oluşturarak belirli durumlarda belirli işlevlerin çalışmasına engel olur. Her bir istasyon bölgesinde bir veya daha fazla anlaşılan kullanılabilmesi gibi birden fazla istasyon bölgesini tek bir anlaşılanla kontrol etmek de mümkündür. TMI sistemi ile bir benzetme yapmak gerekirse burada hareket memurunun yerini anlaşılan almıştır diye düşünülebilir. Anlaşılan sisteminin saha elemanları ile arasındaki bağlantı bakır kablolarla sağlanabileceği gibi uzak giriş/çıkış birimleri (RIO) ile de sağlanabilmektedir. Raylı sistemlerde en çok kullanılan saha elemanları arasında belirli bir bölgede araç olup olmadığının anlaşılmasına yardım eden ray devreleri veya aks sayıcıları, trenlere hareket yetkisi veren yol boyu sinyalleri, karayolu ile kesişimde trafiği düzenleyen hemzemin geçitleri ve trenlerin yol değiştirmesini sağlayan makasları saymak mümkündür. Çoğu zaman bu tür sistemlerde kullanılan makaslar bir makas motoru üzerinden uzaktan kumanda edilebilir ve izlenebilir. Yine TMI ile bir benzetim yapmak gerekirse sinyalizasyonlu sistemlerde tren teşkil memurunun yerini makas motorunun aldığı düşünülebilir. Genelde anlaşılan dâhil anlaşılan ile saha arasındaki tüm

alt sistemler SIL 3 ve çoğu zaman SIL 4 emniyet bütünlüğü seviyesindedirler.

Güzergâh Prensipleri

Açık hat olarak adlandırılan ve herhangi bir makas yapısı içermeyen istasyonlar arası bölgelerde trenlerin emniyeti için genelde blok sinyal prensibinin kullanılması yeterli olur. Ancak, istasyon bölgelerinde trenlerin geçecekleri yollar güzergâh adı verilen parçalara bölünür. Rota (route) adı da verilen güzergâhlar genelde bloğun başındaki bir sinyalden bir sonraki bloğun başındaki sinyale kadar olan ve varsa içerdikleri makasların üzerinden tren geçmesine uygun konumlarını da ifade eden teknik olarak koruma altına alınmış hat kesimlerini ifade ederler. Dispeçer tren hareketlerini kontrol ederken hangi trenin hangi güzergâhı kullanacağını belirleyerek sinyalizasyon sistemine taleplerini iletir. Dispeçer'in bu taleplerinin CTC tarafından anlaşılan sistemine iletilmesinin ardından anlaşılan sistemi talebin uygunluğunu değerlendirmeye alır. Eğer, tehlike oluşturacak bir durum söz konusu değilse güzergâh üzerinde bulunan makaslar olmaları gereken konumlara alınarak ilgili tüm elemanlar ile birlikte elektronik olarak kilitletir. Bu duruma güzergâhın kurulması adı verilir. Kurulu bir güzergâh ilgili bölgeye (önden, arkadan veya yandan) bir başka trenin girerek trenlerin çarpışmasına veya makasların hatalı konumlara geçerek trenin raydan çıkmasına engel olacak bir biçimde teknik olarak koruma altına



Şekil 5. Raylı Sistem Sinyalizasyon Sistemlerinin Temel Yapısı

almıştır. Bir hat kesiminde hangi güzergâhların olduğu ve bu güzergâhlara ilişkin hangi kilitlemelerin yapılacağı henüz hat tasarım aşamasındayken çok ayrıntılı mühendislik çalışmaları sonucunda belirlenir. Belirlenen bütün kilitleme kuralları anlaşılan tablosu adı verilen bir tabloda özetlenir ve anlaşılan sistemine tanıtılır. Çoğu zaman aylar süren detaylı yazılım ve donanım testleri sonrasında sistem devreye alınır.

Tren Koruma Sistemleri

Sadece blok sinyal veya güzergâh sistemi ile korunmuş bir hat kesimi her ne kadar emniyetli olsa da hala tren sürücüsünden kaynaklı hatalara açıktır. Bir sürücünün isteyerek veya istemeyerek sinyal sistemi tarafından kendisine iletilmiş olan hız sınırlamasını veya dur bildirimini ihlal etmesi halinde kaza olma olasılığı hâlâ mevcuttur. Raylı sistemlerde insan hatalarından kaynaklı kaza riskini en aza indirmek temel prensip olduğundan pek çok sistemde temel sinyalizasyon sistemini destekleyen ve bu sistem ile bütünleşik olarak çalışan tren koruma sistemleri mevcuttur. Bu tür sistemler içinde en temel koruma işlevini sağlayan ATS adı verilen otomatik tren durdurma (automatic train stop) sistemidir. Bu sistemde trenin önünde bulunan ışığın bilgisi belirli noktalarda trene balis adı da verilen yol boyu bobinleri tarafından iletilir. Bu bilgi tren üzerinde bulunan hatada emniyetli bilgisayar tarafından işlenir ve trenin bir dur bildirimini (kırmızı ışığı) geçme riskinin tespit edilmesi halinde acil fren uygulaması yaparak trenin durdurulması sağlanır. Her ne kadar ATS sistemi emniyetini önemli ölçüde artırsa da trenin önündeki ışıkla ilgili bilgi sadece belirli noktalarda (bazı durumlarda sadece ilgili yol boyu sinyalinin hemen yakınında tek bir noktada) bildirilmesinin bir sonucu olarak acil fren uygulamasına rağmen trenlerin kırmızı ışığı geçerek yetkileri olmayan bölgelere girmeleri mümkündür. Ayrıca, kırmızı ışığa yaklaşmakta olan bir tren uyarı balisini geçtikten sonra ışık geç bildirimini verse bile tren bilgisayarı öndeki ışığın kırmızı olduğunu varsaydığından trenin istenilen şekilde hızlanması mümkün olmamakta, bu da performans kayıplarına sebep olmaktadır. ATP sisteminin bu dezavantajlarını gidermek üzere sinyal bilgisinin belirli noktalarda değil (değişik teknolojiler yardımıyla) sürekli olarak trene aktarıldığı ATP adı verilen otomatik tren koruma sistemleri (automatic train protection) mevcuttur. Bu tür sistemlerde trenin hız eğrisi sürekli olarak tren bilgisayarı tarafından kontrol edilmekte tehlikeli bir durum olma riski algılandığında öncelikle sürücü uyarılmakta eğer sürücü tanımlı bir zaman içinde gerekli müdahaleyi yapmaz ise acil fren sistemi yardımıyla trenin hareket yetkisi sınırlarını aşmadan durdurulması sağlanmaktadır. Gün geçtikçe raylı sistemler üye-

rinde hareket eden araçların kontrolünün insanlar yerine daha çok bilgisayarlar yardımıyla yapılması söz konusudur. Bu işi yapmaya yardımcı olan sistemlere otomatik tren kontrol sistemi manasında ATC (automatic train control) sistemi adı verilmektedir. Çeşitli seviyeler halinde düşünülebilecek otomatik tren kontrol sistemlerinde en düşük düzeyde ATP sistemleri kullanılır. İlerleyen düzeylerle birlikte tren sürücüsünün görevleri azaltılarak sürüşün tamamıyla bilgisayarlar tarafından gerçekleştirilmesi söz konusudur. ATC'nin en üst seviyesi olan ve UTO adı verilen refakatsız tren işletiminde (unattended train operation) ise trenin işlemesi ile ilgili bütün işlemler bilgisayarlar tarafından yürütülür. Üsküdar-Ümraniye metro hattı bu tür çalışmaya bir örnek olarak verilebilir.

Sonuç

Raylı sistemlerde sinyalizasyon sistemlerinin gerekliliği ve öneminin anlatıldığı bu yazıda sinyalizasyon sistemlerinin temel özellikleri ve çalışma prensipleri hakkında kısa bilgiler aktarılmıştır. Sonuç olarak raylı sistemlerin yapıları gereği özellikle belirli bir trafik yoğunluğunun üzerindeki hat kesimlerinde sinyalizasyon sistemleri raylı sistemlerin vazgeçilmez bir parçasını oluştururlar. İlgili standartlar sayesinde bu tür sistemler hem yüksek emniyete sahip hem de yüksek emre amadeliğe sahiptirler. Çoğu zaman sinyalizasyon sistemlerinin tehlikeli bir hata yapma olasılığı 10000 yılda bir mertebesinde. Bunun bir sonucu olarak raylı sistem taşımacılığı hava yolu taşımacılığı ile birlikte en emniyetli taşımacılık modu olarak karşımıza çıkar.

Kaynaklar

- [1] Key Charts from the Annual Safety Performance Report 2017/18, Rail Safety and Standards Board (RSSB), İngiltere, 2018
- [2] Annual Safety Performance Report A reference guide to safety trends on GB railways 2017/2018, Rail Safety and Standards Board (RSSB), İngiltere, 2018
- [3] Rail Safety Statistics 2017-18 Annual Statistical Release, Office of Rail and Road, İngiltere, 2018(9)
- [4] RAI0501 Rail accidents: casualties by type of accident, Statistical Data Set, GOV.UK, (2018), <https://www.gov.uk/government/statistical-data-sets/rai05-rail-accidents-and-safety>
- [5] Eurostat: Statistics Explained, Railway safety statistics, https://ec.europa.eu/eurostat/statistics-explained/index.php?title=Archive:Railway_safety_statistics
- [6] İstatistiklerle Ulaştırma, Denizcilik ve Haberleşme 2003-2017, Demiryolu, T.C. Ulaştırma ve Altyapı Bakanlığı, <http://www.uab.gov.tr/images/istatistik/2003-2017.pdf>

SİNYALLİ HAT UZUNLUKLARI (2017)-Length of Signalled Lines							(Km)
Kodu Code	Bölge Region	KONVANSİYONEL HAT KESİMLERİ Conventional Line Sections	ANAHAT-Mainlines			TALİ HAT Subsidiary line	GENEL TOPLAM Grand Total
			TEK HAT Single Line	2. 3. ve 4. HATLAR 2 nd , 3 rd , 4 th Mainlines	TOPLAM Total		
101	1	Sirkeci-Demirköprü	267	28	295	35	330
102	1	Pehlivan köy-Kapıkule	68	-	68	14	82
103	1	Mandıra-Kırklareli	1	-	1	-	1
104	1	Haydarpaşa-Ankara	241	89	330	31	361
105	1	Arifiye-Adapazarı	8	-	8	3	11
150	1	Tekirdağ-Murathı	31	31	62	12	74
202	1	Marmaray	35	14	49	5	54
203	1	Gebze-Köseköy	57	57	114	2	116
1. Bölge Toplamı-1st Region Total			708	219	927	102	1029
104	2	Ankara-Sincan	23	8	31	1	32
104	2	Hasanbey-Ankara	231	-	231	70	301
108	2	Ankara-Boğazköprü	407	14	421	47	468
109	2	Irmak-Zonguldak	416	-	416	65	481
132	2	Boğazköprü-Ulukışla	171	-	171	25	196
154	2	Boğazköprü-Gömeç	22	22	44	2	46
2. Bölge Toplamı-2 nd Region Total			1270	44	1314	210	1524
137	3	Hilal-Bandırma	36	33	69	18	87
138	3	Menemen-Aliğa	26	26	52	8	60
140	3	Basmane-Alsancak	3	-	3	2	5
141	3	Basmane-Denizli	53	56	109	29	138
142	3	Torbah-Ödemiş	2	-	2	0	2
3. Bölge Toplamı-3 rd Region Total			120	115	235	57	292
110	4	Boğazköprü-Sivas	222	-	222	34	256
111	4	Samsun-Kalın	2	-	2	-	2
114	4	Hanlı-Bostankaya	46	-	46	3	49
115	4	Sivas-Çetinkaya	111	-	111	29	140
116	4	Tecer-Kangal	48	-	48	2	50
117	4	Çetinkaya-Doğukapı	67	-	67	15	82
4. Bölge Toplamı-4 th Region Total			496	-	496	83	579
118	5	Çetinkaya-Malatya	142	-	142	13	155
119	5	Malatya-Diyarbakır	5	-	5	-	5
123	5	Malatya-Fevzi paşa	182	-	182	16	198
5. Bölge Toplamı-5 th Region Total			329	-	329	29	358
123	6	Malatya-Fevzi paşa	69	-	69	11	80
124	6	Narlı-Karkamış	2	-	2	-	2
127	6	Köprübaşı-Kahramanmaraş	2	-	2	-	2
128	6	Yenice-Tahtaköprü	142	-	142	25	167
129	6	Toprakkale-İskenderun	60	-	60	6	66
131	6	Konya-Yenice	100	-	100	13	113
6. Bölge Toplamı-6 th Region Total			375	-	375	55	430
133	7	Enveriye-Konya	94	-	94	15	109
7. Bölge Toplamı-7 th Region Total			94	-	94	15	109
KONVANSİYONEL HAT TOPLAMI Conventional Line Total			3.392	378	3.770	551	4.321
Bölge Region	YÜKSEK HIZLI HAT KESİMLERİ High Speed Line Sections	ANAHAT-Mainlines			TALİ HAT Subsidiary line	GENEL TOPLAM Grand Total	
		TEK HAT Single Line	2. 3. ve 4. HATLAR 2 nd , 3 rd , 4 th Mainlines	TOPLAM Total			
YHT- HST	Ankara-Polatlı (makas)	73	73	146	3	149	
	Polatlı (makas)-Konya	213	212	425	13	438	
	Polatlı-Konya müselles	5	6	11	-	11	
	Polatlı (makas)-Eskişehir	148	148	296	-	296	
	Eskişehir-Pendik	155	151	306	13	319	
YÜKSEK HIZLI HAT TOPLAMI High Speed Line Total			594	590	1.184	29	1.213
GENEL TOPLAM-Grand Total			3.986	968	4.954	580	5.534

CUMHURİYET DÖNEMİNDEKİ TREN KAZALARI

Cumhuriyet dönemindeki tren kazaları bilgileri de kazaların daha çok hangi nedenlerden kaynaklandığı konusunda bize bilgi vermektedir (TCDD'nin tren kazalarına ilişkin kayıtları 1942 yılından başlamaktadır). TCDD'nin istatistiklerine göre, demiryollarında ölümlen kazaların tarihleri, yerleri ve nedenleri şöyledir:

Tarih	Yer	Olayın türü	Ölü ve yaralı sayısı	Tarih	Yer	Olayın türü	Ölü ve yaralı sayısı
1942	Bor	İki tren çarpıştı	16 ölü 21 yaralı	1980	Diyarbakır	Kaçan vagonlar trene çarptı	4 ölü
1945	Bağıştaş	İki tren çarpıştı	40 ölü 40 yaralı	1980	İzmit	İki tren çarpıştı	17 ölü 25 yaralı
1948	Doğuşşehir	Yolcu treni raydan çıktı	8 ölü 4 yaralı	1981	Karakuyu	Geçit çarpışması	5 ölü 15 yaralı
1948	Samsun	İki tren çarpıştı	12 ölü 8 yaralı	1981	Eskişehir	İki tren çarpıştı	1 ölü 1 yaralı
1948	Irmak	Trenin dingili kırıldı	38 ölü 103 yaralı	1982	Taşlıdere	İki tren çarpıştı	3 ölü 1 yaralı
1948	Kayaş	İki tren çarpıştı	1 ölü 11 yaralı	1982	Demiriz	İki tren çarpıştı	1 ölü 2 yaralı
1949	Osmaniye	İki tren çarpıştı	1 ölü 3 yaralı	1982	Uluova	İki tren çarpıştı	1 ölü 5 yaralı
1952	Karaisalı	Yolcu treni raydan çıktı	31 ölü 15 yaralı	1983	Bilecik	Tren kaçması	1 ölü 11 yaralı
1952	Torbali	İki tren çarpıştı	7 ölü 10 yaralı	1986	Porsuk	Yolcu treni yük trenine çarptı	2 ölü 1 yaralı
1953	Esenkent	İki tren çarpıştı	2 ölü 2 yaralı	1986	Hereke	Yolcu treni yük trenine çarptı	2 ölü 23 yaralı
1956	Bekirhüseyn	Tren raydan çıktı	1 ölü 1 yaralı	1987	Akhisar	Yük treni kamyonete çarptı	10 ölü 4 yaralı
1957	Yarımburgaz	İki yolcu treni çarpıştı	95 ölü 150 yaralı	1989	Pozantı	Yolcu treni yük trenine çarptı	4 ölü 5 yaralı
1958	Çobanlar	İki tren çarpıştı	11 ölü 4 yaralı	1990	Polatlı	İki yolcu treni çarpıştı	2 ölü 49 yaralı
1961	Kartal	İki tren çarpıştı	15 ölü 70 yaralı	1992	Muş	Rayların sökülmesi nedeniyle tren nehre uçtu	5 ölü 41 yaralı
1965	Kadılı	İki yolcu treni çarpıştı	8 ölü 4 yaralı	1995	Ulukışla	Ray otobüsü yük vagonlarına çarptı	3 ölü 30 yaralı
1965	Toprakkale	Yolcu treni raydan çıktı	3 ölü 30 yaralı	1998	Eskişehir	Başkent ekspresi raydan çıktı	2 ölü 18 yaralı
1968	Demirçevre	Tren kaçması	1 ölü 2 yaralı	2002	Temelli	Yolcu treni raydan çıktı	1 ölü 8 yaralı
1972	Akkgedik	İki tren çarpıştı	1 ölü	2002	Bilecik	Yük treni raydan çıktı	1 ölü
1972	Pehlivanlıköy	İki tren çarpıştı	4 ölü 13 yaralı	2004	Pamukova	Hızlandırılmış tren raydan çıktı	38 ölü 95 yaralı
1972	Gökçekısık	İki tren çarpıştı	34 ölü 40 yaralı	2004	Tavşancıl	İki yolcu treni çarpıştı	8 ölü 88 yaralı
1974	Zeytinli	İki tren çarpıştı	16 ölü 35 yaralı	2004	Kocaeli	İki tren çarpıştı	8 ölü
1974	Palu	Tren heyelana çarptı	15 ölü 8 yaralı	2008	Kütahya	Yolcu treni raydan çıktı	9 ölü
1974	Kalın	İki tren çarpıştı	6 ölü 8 yaralı	2015	Sivas	İki yük treni çarpıştı	1 ölü
1975	Fırat	Tren kaçması	5 ölü 1 yaralı	2017	Kırıkkale	Makas değiştirdikten sonra trenin vagonu devrildi	1 ölü
1975	Sarıkent	İki tren çarpıştı	7 ölü 32 yaralı	2017	Elazığ	Tren raydan çıktı	2 ölü
1975	Biğer	Tren raydan çıktı	2 ölü 8 yaralı	2018	Ankara	Yüksek hızlı tren kılavuz trene çarptı	9 ölü 86 yaralı.
1977	Bilecik	İki tren çarpıştı	5 ölü 7 yaralı				
1977	Ulugüney	İki tren çarpıştı	2 ölü 2 yaralı				
1977	Ankara	İki yolcu treni çarpıştı	2 ölü 10 yaralı				
1978	Polath	İki tren çarpıştı	1 ölü 12 yaralı				
1978	Lalabel	İki tren çarpıştı	1 ölü 6 yaralı				
1978	Alsancak	Tren otobüse çarptı	13 ölü 19 yaralı				
1979	Esenkent	İki tren çarpıştı	16 ölü 119 yaralı				
1979	Behiçbey	İki tren çarpıştı	33 ölü 81 yaralı				
1979	Horozluhan	Tren TIR'a çarptı	3 ölü 7 yaralı				
1980	Afyon	Geçit çarpışması	12 ölü 24 yaralı				

Tablodan görüldüğü gibi, demiryollarımızda 77 yılda 62 ölümlü kaza meydana gelmiştir. Bu kazalarda 607 yurttaşımız ölmüş, 2119 yurttaşımız yaralanmıştır. Bunlar çok yüksek kayıp oranlarıdır. Ayrıca ölü sayısı, kaza anında ölenlerin sayısıdır. Yaralandıktan bir süre sonra ölenlerin sayısı bilinmemektedir. Ayrıca yaralananlardan kaçının hayatının geri kalan kısmını ağır sakatlık koşullarında veya bazı uzuvlarını kaybetmiş olarak yaşadığı da bilinmemektedir.

Kazaların 15'i trenin raydan çıkmasıyla olmuştur. 44 kaza ise çarpışma nedeniyle yaşanmıştır. Trenlerin çarpışma nedeniyle kazaya uğramasının, raydan çıkma olaylarının yaklaşık üç katı olduğu görülmektedir. ■