

DEMİRYOLU

DERS NOTLARI-1
2017

Hazırlayan

Yrd. Doç. Dr. Şafak BİLGİÇ

Kaynaklar:

Demiryolu, Prof.Dr. Güngör EVREN

Toprak İşleri ve Demiryolu, Prof.Dr. İnal Seçkin

Railway Management and Engineering, V.A. Profillidis

Practical Railway Engineering, Clifford F. Bonnett

Demiryolu Mühendisliği, Doç.Dr. Zübeyde Öztürk, Dr. Veysel Arlı

http://en.wikipedia.org/wiki/Transportation_by_country

<https://www.cia.gov/library/publications/the-world-factbook/index.html>

http://teacher.buet.ac.bd/cfc/CE353/Lec1_Intro_web.pdf

http://civilengineerme.blogspot.com.tr/2012_04_01_archive.html

<http://www.biltek.tubitak.gov.tr/bdergi/yildiztakimi/pdf/mayis07/114.pdf>

<http://www.theguardian.com/world/2015/apr/21/japans-maglev-train-notches-up-new-world-speed-record-in-test-run>

1. DEMİRYOLU; TANIM VE DİĞER ULAŞIM TÜRLERİYLE KARŞILAŞTIRMALAR

Bir yerden bir yere madeni bir yol üzerinde, mekanik bir güçle hareket ettirilen araçlar içerisinde, insan ve eşya taşınmasını sağlayan tesislerin tümüne birden **demiryolu** denir. Yani demiryolu yalnız ray, travers gibi yol elemanlarından ibaret olmayıp, istasyon tesisleri, arabalar, emniyet ve sinyalizasyon tesisleri gibi taşıma işine yardımcı tüm tesislerin oluşturduğu bir bütündür. Demiryolunun taşıma işlemini gerekli niteliklerle sağlayabilmesi için, taşımaya ilişkin tüm tesislerin yeterli ve uyumlu olması gerekir.

Demiryolunun başlıca özelliği tekerleğin metal-metal teması ile bir hat tarafından kılavuzlu hareketidir, bu hareket demiryolu aracına bir dereceli serbestlik sağlar. Otomobillerin ise iki dereceli serbestliği vardır. Bir dereceli serbestlik kapıdan kapıya ulaşım imkanı sunmaz, ancak otomatik kontrol, bilgisayar ve elektronik ekipmanının kullanımına büyük ölçüde olanak sağlar.¹

Demiryolu Tarihi

Demiryolunun atası sayılabilecek oluklu izlere sahip granit yollar, M.Ö. 600'de Eski Yunan döneminde, ahşap tekerlekli araçlar vasıtasıyla gemilerin ve yüklerin taşınmasında kullanılmıştır. Uzunluğu 6 ile 8,5 km arasında değişen bu yolların iz genişliği ise, günümüzde yaygın olarak kullanılan 1435 mm'lik ray açıklığına oldukça yakın bir değer olan 1500 mm'yd.²



Resim 1. Oluklu Granit Yollar



Resim 2. Gemi Taşınması - İllüstrasyon

1550 yılında "Hund" olarak adlandırılan elle itilen tekne tipi vagonlar Almanya'daki madenlerde kullanılmış, daha sonra bu teknoloji Alman madenciler tarafından İngiltere'ye getirilmiştir.² Yine aynı tarihlerde Fransa'nın Alsace şehrindeki madenlerde, metal kılavuzlar üzerinde hareket

¹ Railway Management and Engineering, V.A. Profillidis

² http://teacher.buet.ac.bd/cfc/CE353/Lec1_Intro_web.pdf

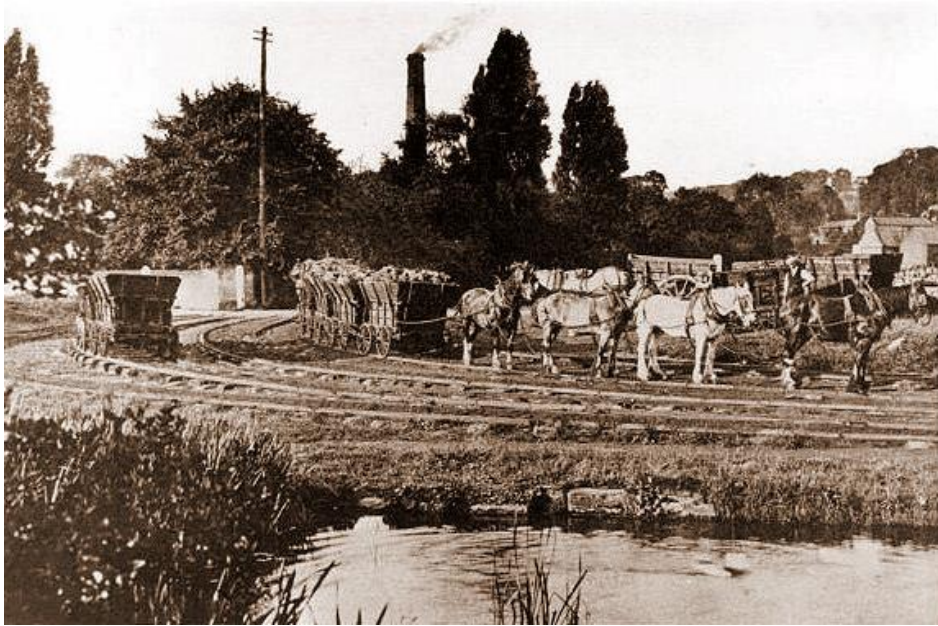
eden arabaların kullanıldığı bilinmektedir.³ 1603-1604 yılları arasında, Huntingdon Beaumont ve Sir Percival Willoughby tarafından yerüstündeki ilk ahşap kılavuzlu yolu inşa edilmiştir. Wollaton Wagonway olarak bilinen yaklaşık 3,2 km'lik uzunluğundaki bu ahşap yol, İngiltere Nottinghamshire'daki madenlerin taşınmasında kullanılmıştır.⁴



Resim 3. Alsace madenleri



Resim 4. Ahşap yolda kullanılan vagon



Resim 5. Atların kullanıldığı demiryolu

³ Railway Management and Engineering, V.A. Profillidis

⁴ http://civilengineerme.blogspot.com.tr/2012_04_01_archive.html

Günümüz demiryollarının öncüleri, 18.yüzyılın sonu ile 19. yüzyılın başlarında ortaya çıkmıştır. İngiltere'deki kömür madenlerinde kömür taşınmasında kullanılan küçük vagonlar, maden içine döşenen kalaslar üzerinde yürütülmekteydi. Demir sanayicisi Reynold, 1767 yılındaki ekonomik kriz sırasında, elindeki demirleri ucuz fiyattan satmaktansa, bunları arabaların çekildiği kalaslar üzerine geçici bir süre için kaplayarak hem ahşap kalasların aşınmasını önlemeyi hem de demir fiyatları yükseldiğinde bunları söküp satmayı düşündü. Ancak demir levhalar üzerinde vagonların daha kolay hareket ettiği fark edilerek, demirlerin sökülmesinden vazgeçildi. Bu demir levhaların en uygun şekilde dönüşmesi, yani uygun ray kesitinin bulunması için yıllar içinde birçok deneme yapılmıştır. Bu sırada vagonların mekanik güçle çekilmesi, yani lokomotifin icadı çalışmaları da başladı.



Resim 6. 18. yüzyılın sonunda Avrupa ülkelerinde kullanılmaya başlanan, metal raylar üzerinde hareket eden atla çekilen tramvaylar⁵

Demiryolunun gelişimi, Sanayi Devrimi ile birlikte endüstrinin gelişiminden, bilhassa buharın kullanılması, kömür ve demir madenlerinin yaygın olarak işlenmesinden çok fazla etkilenmiştir.⁶ Raylardan meydana getirilmiş bir yolda, buharla işleyen bir arabayı ilk kez yürüten İngiliz mühendis Richard Trevithick dir. İlk kez 1803 yıllarda İngiltere Gallerdeki bir maden ocağında kullanılan bu lokomotif ancak birkaç vagoneti çekmekteydi. Lokomotiflerdeki büyük gelişme 1825'de borulu kazan sisteminin icadıyla olmuştur. **Demiryolculuğun başlangıcı sayılan olay ise 6 Ekim 1829'da gerçekleşmiştir.** Özel bir şirket, **Liverpool ve Manchester** arasında bir demiryolu hattı inşa etmiş ve bu hatta çalıştırılacak lokomotif için bir yarışma açılmıştır. Bu

⁵ Practical Railway Engineering, Clifford F. Bonnett

⁶ Railway Management and Engineering, V.A. Profillidis

yarışmayı **George Stephenson**, lokomotifine yatay borulu bir kazan koyarak, pistonu doğrudan doğruya tekerleğe bağlayarak ve silindirden çıkan kullanılmış buharı bacadan geçirip dışarı vererek kazanmıştır. “**Rocket**” adındaki bu lokomotif 4,25 ton ağırlığında, 22 Bb gücünde idi ve 13,2 tonluk yükü **22 km/sa** hızla çekmiştir. Bu hattın ana amacı yük taşımacılığı olmasına rağmen, yolcu trafiğinde de büyük taleple karşılaşıldı ve bu hem İngiltere hem de diğer ülkelerde demiryollarının geliştirilmesi için cesaret verdi. Öyle ki ABD’de 1850’de 14500 km, 1890’da ise 209000 km’lik demiryolu ağına ulaşıldı, 1869 yılında iki okyanus arasındaki bağlantı sağlandı. Ayrıca lokomotiflerin geliştirilmesi konusunda da çok hızlı bir gelişme gözlemlendi. Rocket’in maksimum hızı 48km/sa e kadar çıkarılmış, 1850 yılında ise 100km/sa hıza ulaşılmıştır. Buharlı lokomotiflerle en son 1938 yılında 200 km/sa hıza ulaşılmıştır.

İngiltere’de, 1857 yılında ilk çelik raylar kullanılmış, 1863 yılında ise 6,3 km’lik ilk yeraltı demiryolu hattı hizmete açılmıştır.⁷



Resim 7. Stephenson'ın Rocket isimli lokomotifi

20. yüzyılın başında elektrikli çekimin devreye girmesi ile demiryolları daha fazla gelişmiş, 2. Dünya Savaşı öncesinde sinyalizasyon ve merkezi kontrol sisteminin gelişimi ile 1950’li yıllarda şimdiki demiryolları şekillenmeye başlamıştır. Demiryollarında özellikle hızın artması, maliyetlerin düşmesi, daha iyi organizasyon ve sunulan hizmetlerin iyileştirilmesi, modernizasyon ve gelişimi zorunlu hale getirmiştir. Bundan dolayı günümüzde artık 250-300

⁷ http://teacher.buet.ac.bd/cfc/CE353/Lec1_Intro_web.pdf

km/sa hızla giden yüksek hızlı trenler kullanılmaya başlamıştır.⁸ Yüksek hızlı trenler arasındaki hız rekoru 575km/sa ile Fransız SNCF şirketine ait TGV trenindedir.

Klasik demiryollarına paralel olarak 1970'li yılların ortasından itibaren deneysel gelişmeler ilerlemiş ve aracın tekerleği ile taşıyıcı altyapı arasında temas olmaksızın aracın hareketi sağlanmıştır. Buna örnek olarak manyetik levitasyonlu (manyetik olarak havada tutulan) Maglev trenler geliştirilmiştir. Maglev tren teknolojisi, büyük ölçüde geliştirilme aşamasında olduğu için henüz yaygın olarak kullanılmaya başlanmamıştır.⁸ Şu an Almanya ve Japonya, maglev tren teknolojileri üzerinde çalışmaktadır. Maglev trenlerin günlük yaşamdaki ilk örneği, Çin'in Şangay kentinde kullanılmaya başlanmış, 30 km'lik bir hat üzerinde çalışan tren bu mesafeyi 7 dakika 20 saniyede geçebilmektedir.⁹ 2015 yılında yapılan hız denemesinde ise Japon Maglev treni 603 km/sa ile hız rekoru kırmıştır.¹⁰



Resim 8. Fransız SNCF şirketine ait TGV treni



Resim 9. Japon Maglev Treni

⁸ Demiryolu Mühendisliği, Doç.Dr. Zübeyde Öztürk, Dr. Veysel Arlı

⁹ <http://www.biltek.tubitak.gov.tr/bdergi/yildiztakimi/pdf/mayis07/114.pdf>

¹⁰ <http://www.theguardian.com/world/2015/apr/21/japans-maglev-train-notches-up-new-world-speed-record-in-test-run>

Ülkemizde Demiryollarının Gelişimi

Yıkılma devresindeki ve gelişmişlikte batının çok gerisinde kalmış olan Osmanlı İmparatorluğu, demiryolculuk konusunda batıdaki gelişmeleri çok yakından takip etmiştir. Uzun süre ülkemizde demiryolu inşa edilmesi için batılı ülkeleri ikna etmeye çalışmış, ancak 1856 yılında ilk inşaat İngilizlere verilen imtiyazlarla çok ağır şartlarla başlayabilmiştir. 1866'da hizmete açılan 130 km lik İzmir-Aydın demiryolu Anadolu'daki ilk demiryolu hattı olmuştur. Demiryolu inşaatları birçok maddi ağır yüklere ve manevi üzüntülere sebep olmuştur. Yabancıların abartılı tahminleri kadar gelir getirmeyen hatlardaki her km için teminat akçeleri ödenmiştir. 1911 yılına kadar yalnız Anadolu hattıyla Bağdat hattının kısa bir kısmı için 4 milyon altın lira kilometre tazminatı verilmiştir.

Tüm bunlara rağmen, Osmanlının çöküşüne kadar, İngiliz, Fransız ve Alman imtiyazında çalışan demiryollarımız, Kurtuluş Savaşı sırasında çalıştıracak Türk makinistin bile bulunmadığı bir halde teslim alınmıştır. Böylece, Cumhuriyet öncesi çeşitli yabancı şirketler tarafından inşa edilen demiryolu hattının 4000 km'lik bölümü, Cumhuriyetin ilanı ile belirlenen milli sınırlar içinde kalmıştır. Osmanlı İmparatorluğu'ndan genç Cumhuriyete, yabancı şirketlere ait 2.282 km.lik normal genişlikte hat ve 70 km. uzunluğunda dar hat ile devletin yönetiminde olan 1.378 km.lik normal genişlikte hat kalmıştır. . Cumhuriyet ilanı sonrasında, milli sınırlar içinde kalan yabancı şirketlere ait hatlar satın alınarak millileştirilmiştir. Genç Cumhuriyetin ilk hedeflerinden birisi, Atatürk'ün emirleri doğrultusunda, çağın gelişmişlik göstergesi olan demiryollarının tüm ülkeyi demir ağlarla saracak şekilde geliştirilmesidir. Teknik ve mali yönden çok zor şartlar altında, demiryolu yapımı İkinci Dünya Savaşı'na kadar büyük bir hızla sürdürüldü. Savaş nedeniyle 1940'dan sonra yavaşladı. 1923-1950 yılları arasında yapılan 3.578 km.lik demiryolunun 3.208 km.si, 1940 yılına kadar tamamlandı. Ancak 1950'den itibaren ülkemiz, ABD'nin Marshall yardımı ile tamamen karayolu ağırlıklı bir ulaşım politikası izlemiş ve 1951-1980 arasında sadece 873km demiryolu hattı inşa edilmiştir. Bugün ülkemiz sadece 8903 km lik anahat demiryolu uzunluğuna sahiptir.

Ülkemizde yeni demiryolu inşaatları Ulaştırma Bakanlığına bağlı Demiryollar Limanlar ve Havameydanları İnşaatı Genel Müdürlüğü (DLH) tarafından yapılmakta, mevcut demiryollarının işletilmesi, bakım ve onarımlarının yapılması ise Ulaştırma Bakanlığına bağlı Türkiye Cumhuriyeti Devlet Demiryolları Genel Müdürlüğü (TCDD) tarafından yapılmaktadır. Ankara-İstanbul Yüksek Hızlı Tren Hattının yapımına 2003 yılında başlanılmış, Sincan-Eskişehir kesimi tamamlanarak 13.03.2009 tarihinde Ankara-Eskişehir arasında, Polatlı-Konya kesimi tamamlanarak 24.08.2011 tarihinde Ankara-Konya arasında, Eskişehir-Pendik kesimi

tamamlanarak 25.07.2014 tarihinde Eskişehir-İstanbul arasında YHT ile yolcu taşımacılığına başlanmıştır. TCDD'nin işlettiği anahatların uzunluğu 8903 km, hızlı tren hatlarının uzunluğu ise 1213 km'dir.¹¹ Anahatların %95 i tek hatlı bağlantılardan oluşmaktadır. YHT hatları ile birlikte elektrikli hat uzunluğu 3748 km (%30) ve sinyalize hat uzunluğu 4412 km (%35) dir. Ülkemizde yük taşımacılığının %5,5 i yolcu taşımacılığının ise sadece %2,7 si demiryolları ile yapılmaktadır.

TCDD DEMİRYOLU ŞEBEKESİ



Resim 10. Ülkemizdeki mevcut demiryolu anahatları

¹¹ <http://www.tcdd.gov.tr/files/istatistik/20102014yillik.pdf>

Aşağıdaki tabloda bazı ülkelerdeki demiryolu hattı uzunlukları, yük ve yolcu taşımacılığındaki demiryolu payları gösterilmiştir. Tablodan da görüldüğü üzere ülkemizdeki demiryolu ağı uzunluğu oldukça yetersizdir.

Tablo 1. Ülkelere göre demiryolu ağı uzunlukları

Ülke	Yüzölçümü (km ²)	Nüfusu	Demiryolu Uzunluğu (km)
ABD	9.826.630	322.856.495	226.706
Fransa	547.030	65.107.000	29.488
Almanya	357.021	81.459.000	48.215
Polonya	312.685	38.533.299	23.072
Romanya	237.500	20.121.641	11.385
Çek Cumhuriyeti	78.866	10.512.800	9.597
Türkiye	780.580	78.741.053	8.903 ¹²

Ulaşım Türlerinin Karşılaştırılması

Karayolu Ulaşımı: Lastik tekerlekli araçların hareketiyle sağlanan bu ulaşım türünde yük/dara oranı oldukça büyük olduğundan ve sürtünme kuvvetleri fazla olduğundan oldukça pahalı bir ulaşım türüdür. Ancak kapıdan kapıya ulaşım imkânı sağladığından en çok tercih edilen ulaşım türüdür. Yolculuk güvenliği bakımından en tehlikeli ulaşım türüdür.

Demiryolu Ulaşımı: Demir tekerlekli araçların demir rayların üzerinde yuvarlanmasıyla hareket sağlandığından sürtünme oldukça azdır. Bu sebeple büyük miktarda taşımalarda oldukça ekonomiktir. Çünkü yük/dara oranı karayolu sistemine göre çok daha avantajlıdır. Ancak eğimlerin düşük ve yarıçapların büyük tutulması gerektiğinden ilk yatırım maliyetleri fazla olmaktadır. Ancak aynı kapasitedeki karayoluna göre çok daha ekonomiktir. Diğer üstün ve zayıf yanları aşağıda incelenecektir.

Su (deniz, göl, nehir) Ulaşımı: Eğim sıfır olduğundan ve büyük daralara izin verdiğinden büyük miktarda taşımalarda en ekonomik taşıma türlerinden biridir.

¹² <http://www.tcdd.gov.tr/files/istatistik/20102014yillik.pdf>

Hava Ulaşımı: Yüksek hıza imkân vermesine rağmen, büyük sürtünmeler sebebiyle en pahalı ulaşım sistemidir. Bu sebeple genellikle yolcu taşımacılığı gibi zamanın çok değerli olduğu durumlarda kullanılmaktadır. Aslında en güvenli ulaşım türlerinden biri olmasına rağmen, kazadan sağ kurtulma oranı bakımından zayıf olması kötü bir imaj yaratmaktadır.

Boru Hattı Ulaşımı: Dara ağırlığı sıfırdır. Bu yüzden büyük miktarlarda yük (sıvı ve gaz) taşınması yapıldığında en ekonomik taşıma sistemidir. Ülkemizde 2004 yılı verilerine göre 3,177 km gaz ve 3,562 km petrol boru hattı bulunmaktadır.

Tablo 2. Toplu Taşıma Sistemlerinin Karşılaştırılması

Sistem Adı	Karakteristik Özellikleri	İşletme Aralığı	Araç Yolcu Kapasitesi	Saatlik Yolcu Kapasitesi (yolcu/saat/yön)
Dolmuş	Karışık trafik	3 dk.	4-10	80-200
Minibüs		3 dk.	10-20	200-400
Otobüs		3 dk.	50-200	1000-4000
Özel Otobüs Yolu	Özel yol	2 dk.	100-200	3000-6000
Metrobüs	<ul style="list-style-type: none"> • %100 korumalı • Özel kapalı durak 	1 dk.	200-250	12000-15000
Nostaljik Tramvay	<ul style="list-style-type: none"> • Karışık trafik 	5 dk.	50-100	< 10000
Cadde Tramvayı		5 dk.	150-250	
Hızlı (Süper) Tramvay		5 dk.	300-500	
HRS (Hafif Raylı Sistem)	<ul style="list-style-type: none"> • %100 korumalı • Özel durak 	2-5 dk.	-	10000-20000
Hafif Metro		2-5 dk.	-	20000-30000
Metro		2-5 dk.	-	≥ 30000

Tablo 3. Kent içi raylı sistem araçlarının özellikleri¹³

	Tramvay	Metro
Araç Kontrol	Manuel/görsel	Sinyal/otomatik kontrol
Enerji Besleme	Katener	Katener / 3. Ray
Hat Türü	Cadde	Korunmuş Yol
İstasyon Peronları	Alçak - Yüksek	Yüksek
Araç Boyu (m)	14-35	15-23
Araç Genişliği (m)	2,2-2,7 (2,4)	2,5-3,2 (2,9)
Dizideki Araç Sayısı	1-3 vagon	4-10 vagon
Azami dizi sıklığı (dizi/saat)	60-120	20-40
Azami Hız (km/h)	50-70	80-110
Ortalama hız (km/h)	12-20	40-65
Kapasite İşletme Hızı (km/h)	8-13	24-55
Acil Fren İvmesi (m/s ²)	2-3,7 (tipik değer 2,8)	1,1-2,1 (tipik değer 1,3)
Azami İvme (m/s ²)	1-1,9 (tipik değer 1,2)	1-1,4 (tipik değer 1,1)
Çıkabileceği maksimum eğim (%)	70	60-80
Min. yatay kurp yarıçapı (m)	20	45-100
Ortalama hat uzunluğu (km)	5-25	10-25
Ortalama istasyon aralığı (km)	0,3- 0,7	0,8-3,2
Min. Sefer aralığı	5-10 dak.	5-10 dak.
Normal sefer aralığı	10-20 dak.	10-20 dak.
Yatırım Maliyeti (milyon \$/km-hat)	5-10	40-100

Ulaşım Sistemlerinde Aranılan Genel Nitelikler

- **Güvenlik:** Taşınan yolcu veya yükün, taşıma sırasında zarar görmemesi gerekir. Bir ulaşım sisteminde aranılan en önemli özelliktir.
- **Hız:** Ulaşım sistemi, taşınacak yolcu veya yükü en kısa sürede istenilen yere götürebilmelidir.
- **Düzenlilik, Güvenirlik:** Ulaşım sistemi, yolcu veya yükü, önceden belli olan bir yerden, bildirilen zamanda almalı ve önceden belli olan bir yere bildirilen zamanda götürebilmelidir.

¹³ <http://umts.iyte.edu.tr/wp-content/uploads/2015/06/123.pdf>

- **Konfor:** Özellikle yolcu taşımacılığında rahat bir yolculuk sağlanmalıdır.
- **Ekonomiklik:** Taşıma işlemi yukarıda sayılan nitelikleri yerine getirmekle birlikte, en ekonomik biçimde gerçekleştirilmelidir.

Demiryollarının diğer ulaşım türlerine göre üstünlükleri:

1. Ekonomiktir. Büyük toplum kesimlerinin daha kolay ve ucuza taşınması sağlanır.
2. Kütle ve kitle taşımacılığına uygundur.
3. Hızlı, düzenli, güvenli ve konforludur.
4. Askeri ulaşımına uygundur.
5. Çevrecidir. Diğer ulaşım sistemlerine göre çevreyi daha az kirletir.

Demiryollarının diğer ulaşım türlerine göre zayıflıkları:

1. Düşük kapasite ile çalıştığında yatırım ve işletme maliyetleri çoktur.
2. Rijit bir sistemdir. Değişiklik yapılması zor ve pahalıdır.

Demiryollarının Sınıflandırılması

1. Hukuki bakımdan:

- | | |
|-------------------------|-------------------------------|
| a) Kamuya ait, | c) Kamu-özel sektör ortaklığı |
| b) Özel şirketlere ait, | |

2. Arazi eğimine göre:

- a) Eğim < %4 ise düzlük-ova demiryolları
- b) Eğim %4-15 arasındaysa arızalı-dalgalı arazi demiryolları
- c) Eğim %15-25 arasındaysa dağlık arazi demiryolları
- d) Eğim > %25 ise dağ demiryolları

3. Geçtiği yerlere göre

- a) Şehirlerarası: Şehirlerarasında ulaşım sağlayan demiryollarıdır.
- b) Şehir içi: Şehir içinde ulaşım sağlayan Metro, Hafif Raylı Sistem, Tramvay gibi demiryollarıdır.

- c) Banliyö: Büyük şehirlerde, şehir merkezinden başlayıp, şehirlerarası demiryolu hattının şehrin banliyö adı verilen dış bölgelerine kadar olan kısmını kullanan demiryolu türüdür.

4. Hattın inşa şekline göre:

a) Hattın genişliğine göre:

- i) Standart hat (1435mm)
- ii) Dar hat (<1435mm)
- iii) Geniş hat (>1435mm)

b) Hat sayısına göre:

- i) Tek hatlı
- ii) Çift hatlı
- iii) Çok hatlı

c) Hattın yüzeye göre durumuna göre:

- i) Yüzeysel
- ii) Yer altı
- iii) Viyadüklü

d) Hattın tipine göre:

- i) Konvansiyonel hat: Yol alt ve üst yapısının kalitesi, taşıma kapasitesi, eğimi ve geometrik unsurları gereği, yük ve yolcu trenlerinin 200 km/sa altında hız yapabildiği hatlardır.¹⁴
- ii) Hızlı tren hattı: Yolcu trenlerinin 200 km/sa ve üzerinde hız yapabildiği, dingil

yüklerinin düşük, hat kusur toleranslarının az ve eğimlerin yüksek (%035) olduğu hatlardır.¹⁵

e) Rayın yüzey özelliğine göre:

- i) Normal
- ii) Pürüzlü
- iii) Dişli
- iv) Manyetik

f) Rayın tipine göre:

- i) Normal mantarlı
- ii) Oluklu

¹⁴ <https://docs.google.com/file/d/0B8yN8dZ-3IX-UGtBZGxhc3Bjb1E/edit?pref=2&pli=1>

¹⁵ Demiryolu Mühendisliği, Doç.Dr. Zübeyde Öztürk, Dr. Veysel Arlı

5. Lokomotifin kullandığı enerji türüne göre:

- | | |
|---------------------|--------------------|
| a) Buharlı | d) Elektrikli |
| b) Dizel | e) Türbinli |
| c) Dizel elektrikli | f) Basınçlı havalı |

2. DEMİRYOLU ARABALARI

Üç çeşit demiryolu arabası vardır:

- 1. Çekici demiryolu arabası (lokomotif):** arkasına bağlanan diğer demiryolu arabalarını çeken motorlu demiryolu arabalarıdır.
- 2. Taşıyıcı demiryolu arabası (vagon):** kendi motoru bulunmayan, başka demiryolu arabaları tarafından çekilen demiryolu arabalarıdır. Yük, yolcu ve hizmet vagonu çeşitleri bulunmaktadır.



Resim 11. Dizel Elektrikli Lokomotif



Resim 12. Yük Vagonu

- 3. Hem çekici hem taşıyıcı demiryolu arabası:** Aynı şasi üzerinde hem motoru bulunan, hem de taşıma (yük veya yolcu) işini gerçekleştiren demiryolu arabası türüdür. Bunların dizel yakıtla çalışanlarına **otoray**, elektrikle çalışanlarına **otomotris** denir.



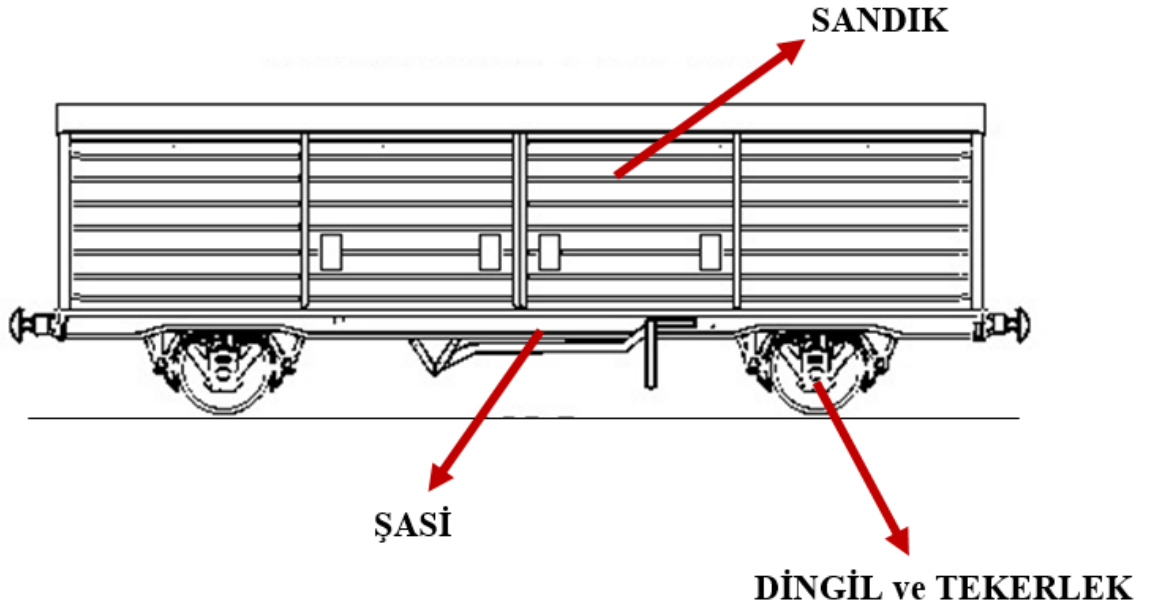
Resim 13. Otoray (Raybüs)



Resim 14. Otomotris (Estram)

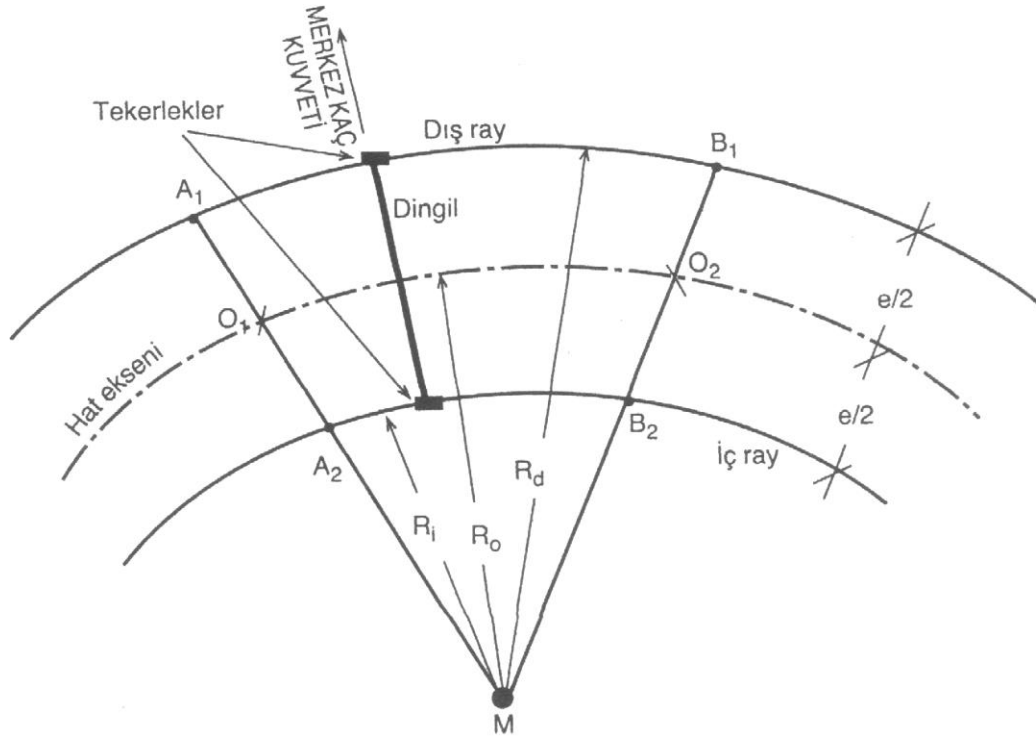
Bütün demiryolu arabalarının ortak kısımları şunlardır:

1. **Sandık (karoser):** Lokomotifte motorun ve sürücü kabininin, vagonda ise yolcu veya yükün olduğu yerdir.
2. **Şasi:** Sandığın üzerine oturduğu, sandıktan gelen yüklerin dingillere aktarıldığı kısımdır.
3. **Dingil ve tekerlek:** Şasiden gelen yükleri raylara aktaran hareketli kısımlardır.



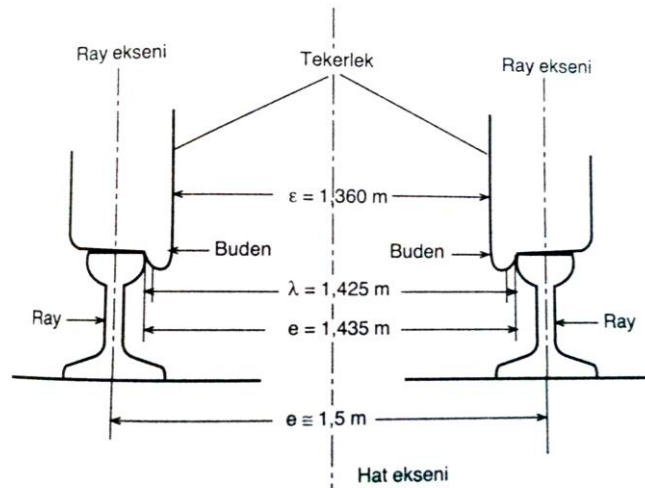
Demiryolu arabalarının genel özellikleri:

1. Tekerlekler dingillere rijit bir şekilde bağlıdır ve birlikte dönerler. Bu sebeple kurplarda oluşacak iç ve dış rayın uzunluk farkının sıkıntı yaratmasını önleyebilmek amacıyla 5. maddedeki önlemler uygulanır.



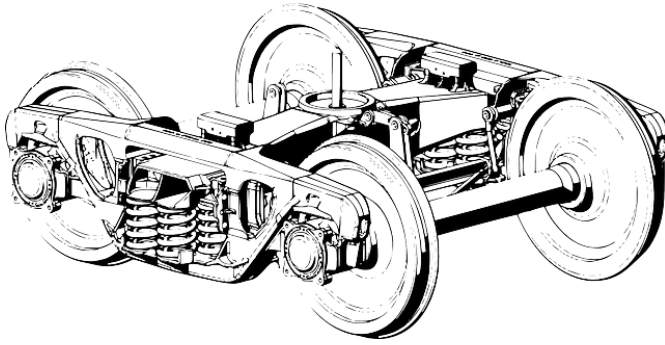
Şekil II.2

2. Tekerlek bandajları budenlidir. Budenler kılavuzlamayı sağlar, yani aracın demiryolu hattından çıkmasını önler.



3. Sağlam ve basit olması için tekerlekler dolu gövdeli yapılıdır. Buharlı lokomotifler hariç tekerlek çapları 1 metredir.
4. Dingiller araba aksine diktir ve bu diklik virajlarda da bozulmaz. Bu yüzden 2 dingilli vagonların kısa yapılması gerekmektedir. Uzun vagonlar yapılabilmesi için boji sistemi kullanılmaktadır.

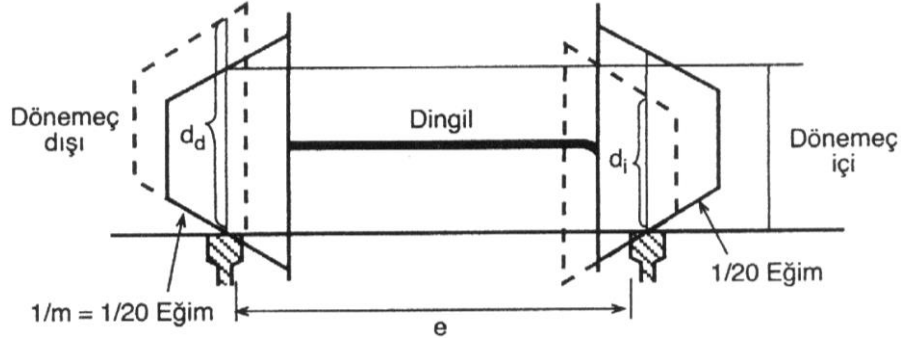
Boji: 2 dingilli ufak şasidir. Esas şasiye bir mafsalla bağlıdır. Bojili arabalarda dingiller boji aksine diktir.



5. Kurplarda dış raydaki teker iç raydakine göre daha fazla yol katedeceğinden ($A_1B_1 > A_2B_2$), buna yönelik olarak tekerleklerin raya oturan alt yüzeyi (yuvarlanma yüzeyleri) eğimli (konik) yapılmıştır. Bu durumda tekerlek alt düzlüğünün ray başlığı ile yüzeysel birlikteliğini sağlamak için ray eksenleri de hat içine doğru düşey eğimli tertiplenmişlerdir. Genelde bu eğim $1/20$ 'dir, ancak UIC 60 tipi rayların kullanıldığı yüksek hızlı tren hatlarında bu eğiklik değeri $1/40$ 'a düşürülmüştür. Taşıt kurba girdiğinde merkez kaç kuvveti etkisi ile dingil kurp dışına doğru bir miktar ötelenecektir. Tekerlek alt yüzeyinin eğimli olması yardımıyla kurp dışındaki çap değeri kurp içindekinden daha büyük olacaktır ($d_a > d_i$). Tekerlek alt yüzeyinin eğimli olması nedeniyle oluşan bu durum, kurp dışındaki tekerleğin içtekine oranla eşit dönüş sayılarında daha fazla yol gitmesi olanağı sağlamaktadır.^{16 17}

¹⁶ Toprak İşleri ve Demiryolu, Prof.Dr. İnal Seçkin

¹⁷ Demiryolu, Prof.Dr. Güngör Evren



6. Araba sandıkları tekerleklerin dışına taşar (buharlı lokomotifler hariç).
7. Arabaların enkesit alanları gabari ile sınırlıdır.

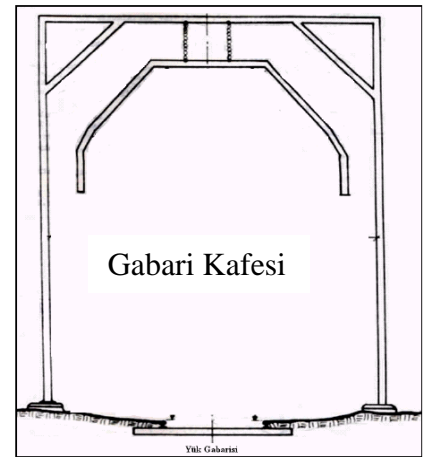
Gabari: Demiryolu araçlarının, demiryolu güzergahında güvenle seyirlerini temin etmek amacıyla belirlenmiş ölçülerdir. Demiryolu taşıtlarının imal edilmesinde, demiryolu güzergâhındaki yapıların yapımında ve açık vagonlar üzerine yüklenen yüklerin ölçülerinin belirlenmesinde kullanılır.

Vagon üzerine yüklenen, yanlara taşan, yüklerin tünel, köprü ve yol kenarındaki ağaç, ev vb. yerlere çarpmadan geçmesini ölçen araca, yükleme gabarisi (gabari kafesi) denir.

Gabari ölçümünde yükseklikler alınırken ray mantarı üst seviyesinden itibaren, genişlikler alınırken yolun ekseninden itibaren ölçülür.

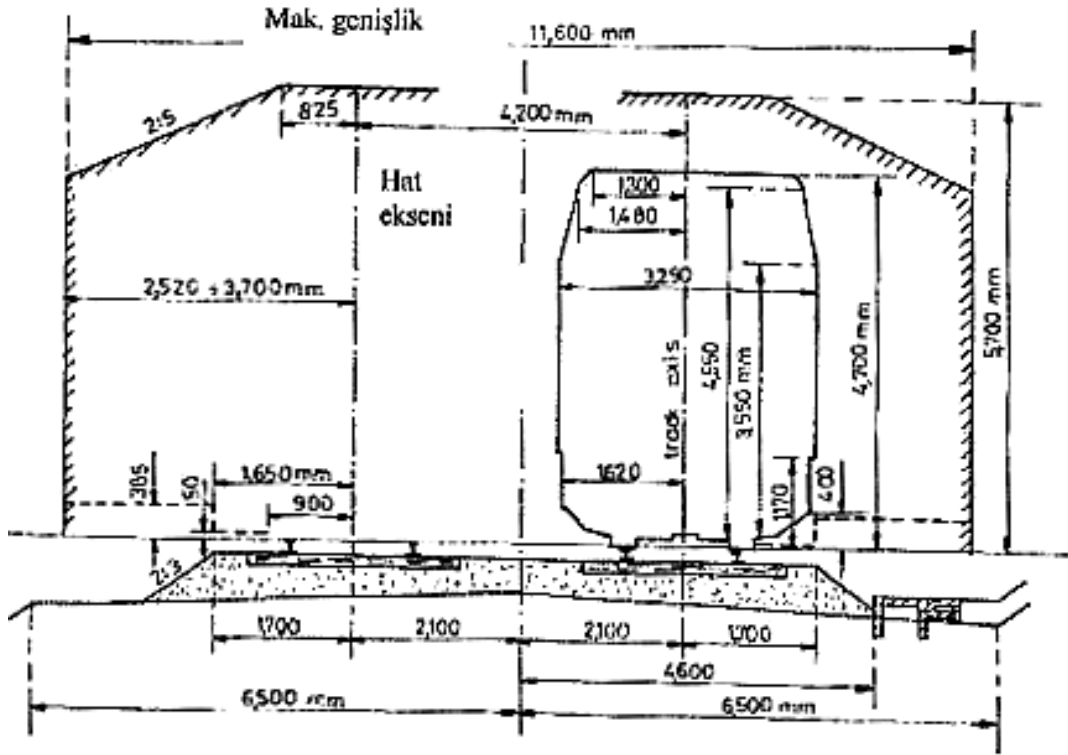
Gabari Çeşitleri:

1. Yük gabarisi: (gen.= 3150 mm, yük.=4650 mm)
2. Yapı gabarisi: (gen.= 4000 mm, yük.=4800 mm)
3. Taşıt gabarisi: (gen.= 3150 mm, yük.=4280 mm)
4. Tünel gabarisi: (gen.= 5000 mm, yük.=5400 mm)



Yüksek hızlı tren gabarisi: Yüksek hızlı hatlarda yanal mesafe ve hat eksenleri arasındaki mesafe daha büyük olduğu için gabarileri daha farklıdır.¹⁸

¹⁸ **Railway Management and Engineering, V.A. Profillidis**



Şekil 2.17 Yüksek hızlarda tren yük gabarisi (Fransa TGV)

Koniklik Formülünün Çıkarılması

$$\frac{d_d}{d_i} = \frac{R_d}{R_i}$$

d_d ve d_i kurpta dış ve iç tekerleklerin birbirinden farklı yuvarlanma çapları olmak üzere,

$$R_d = R_o + \frac{e}{2} \quad , \quad R_i = R_o - \frac{e}{2} \quad , \quad d_d = d_o + \frac{e - \lambda}{n} \quad , \quad d_i = d_o - \frac{e - \lambda}{n}$$

bağıntıları yazılabilir. (d_o : hat doğruda iken tekerleklerin yuvarlanma çapları). Tekerleklerde, hattın doğruda bulunduğu konumda budene dayanma noktasına kadar hareket payı ($e-\lambda$) dır.

$$\frac{e - \lambda}{n}$$

ise (d_o) in kurp kesiminde (d_d) ve (d_i) ye varan artma ve azalma değerleri olmaktadır. Rayla temas eden tekerlek alt yüzey eğimi $1/n$ olarak gösterilmektedir. Yukarıda verilen ilk bağıntıda tekerleklerin yuvarlanma çaplarına ve planda dış ve iç ray yarıçaplarına ait verilen bağıntılardaki karşılıkları yerlerine yerleştirilirse, hat ekseninde kurp yarıçapı olarak,¹⁹

$$R_o = \frac{d_o * e * n}{2(e - \lambda)}$$

¹⁹ Toprak İşleri ve Demiryolu, Prof.Dr. İnal Seçkin

elde edilen bağıntıda n değeri yalnız bırakılırsa koniklik değeri elde edilir.

$$\frac{1}{n} = \frac{d_o * e}{2(e - \lambda) * R_o}$$

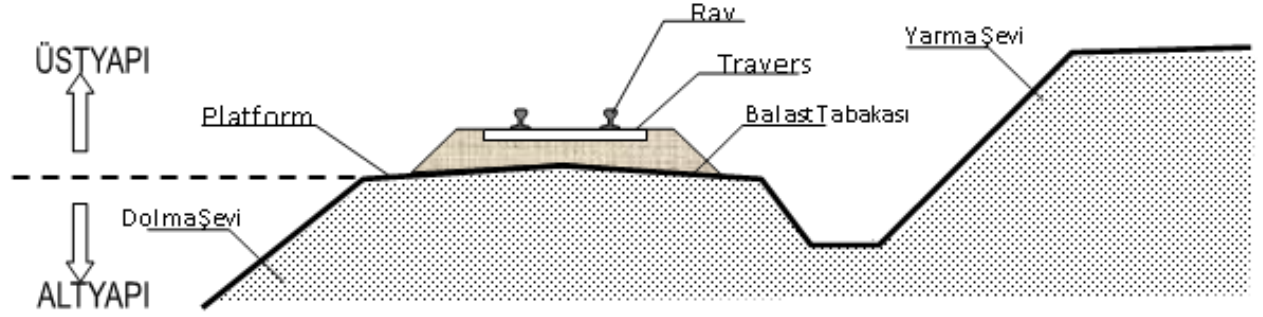
Konvansiyonel demiryollarında 1/20 ve Yüksek Hızlı Demiryollarında 1/40 günümüzde en çok kullanılan koniklik değerleridir.

3. YOLUN ANA BÖLÜMLERİ

Demiryolu iki ana bölümden meydana gelmiştir.

A- Altyapı

B- Üstyapı



A. ALTYAPI

Demiryolunun geçtiği yerlerde tabii arazideki çukur yerlerin doldurularak, yüksek yerlerin yarılarak veya tünel delinerek geçilmek suretiyle elde edilen, tesviye edilmiş (düzeltilmiş) toprak kısmına **platform** denir. Platform denilen zemin ile bu zemini elde edebilmek için yapılan sanat yapılarının tamamına altyapı denir. Platform, yarmalar, dolgular (dolmalar), tüneller, köprüler, geçitler, sağlamlaştırma ve önleme yapıları demiryolu altyapısını oluşturur.²⁰

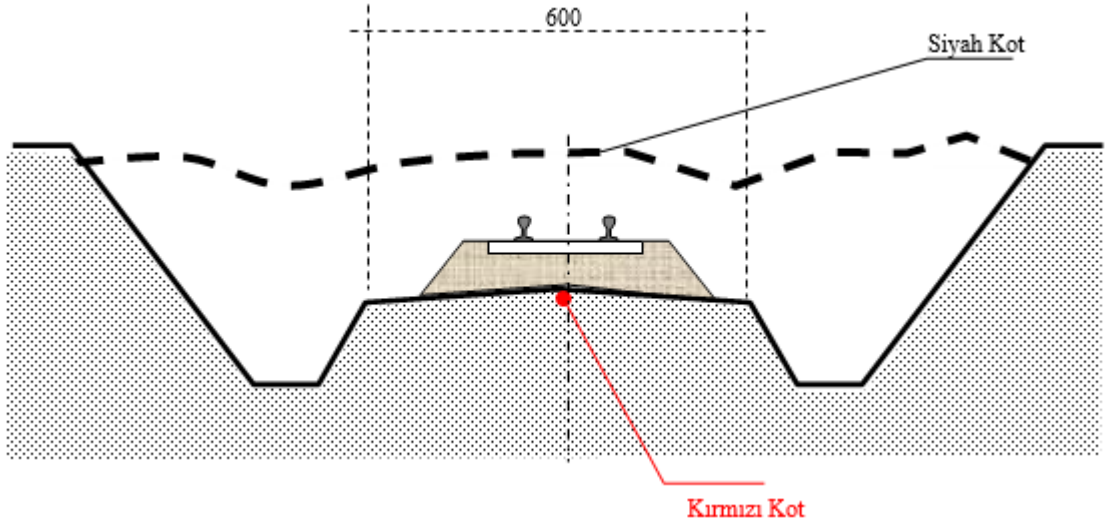
Altyapıyı Meydana Getiren Unsurlar

1. Yarmalar
2. Dolmalar
3. Tüneller
4. Köprüler
5. Geçitler
6. Tahkimat (sağlamlaştırma) yapıları

²⁰ <https://docs.google.com/file/d/0B8yN8dZ-3IX-UGtBZGxhc3Bjb1E/edit?pref=2&pli=1>

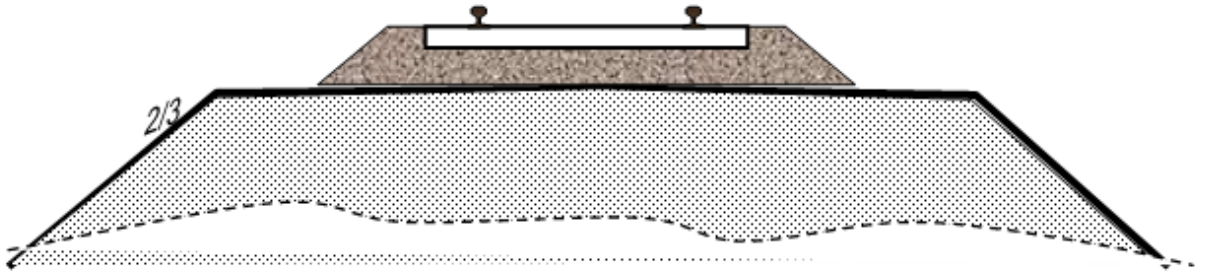
1. Yarmalar

Yolun geçecek olduğu seviyeden yüksek olan arazinin yarılmak suretiyle geçilen yerlerine **yarma** denir.



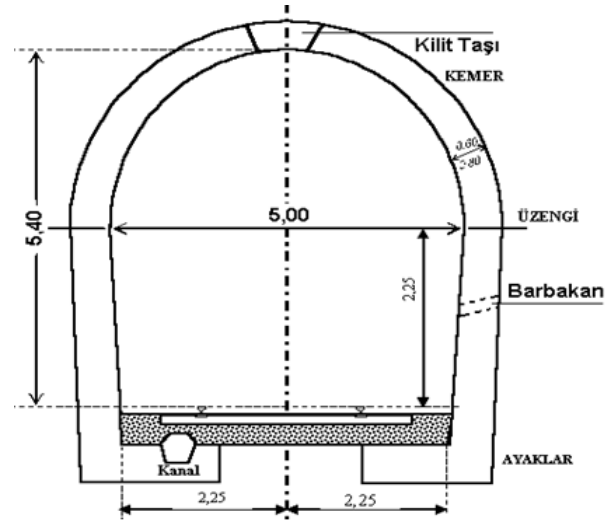
2. Dolmalar

Yolun geçecek olduğu seviyeden çukur olan yerlerin doldurulması ile elde edilen altyapının türüne **dolma (dolgu)** denir.



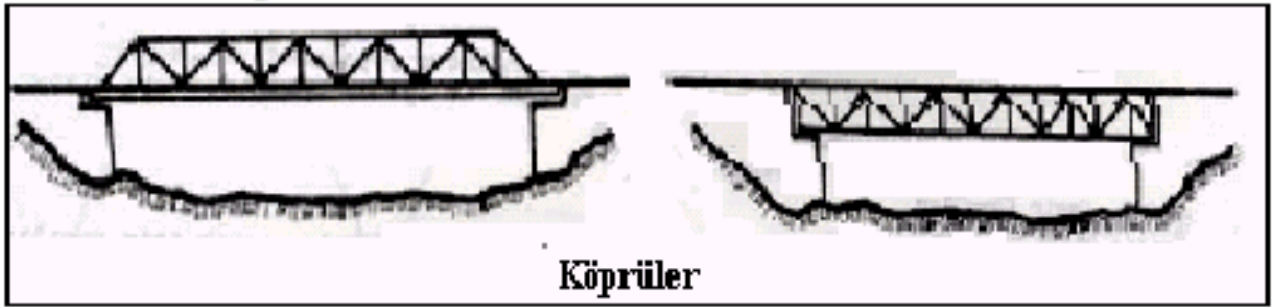
3. Tüneller

Yolun geçeceği seviyeden yüksek olan yerlerin, yarma yüksekliğinin fazla olması veya pahalıya malolması halinde delinerek geçilmesi suretiyle elde edilen altyapı türüne **tünel** denir.



4. Köprüler

Demiryolunun suyun bir tarafından diğer tarafına geçmesini sağlayan tesislerdir. Açıklığı 8.00 metreden fazla olanlara köprü, 8.00 metreden küçük olanlara menfez denir.



Geniş ve derin bir vadiyi (altından geçecek su miktarı dikkate alınmadan) geçmek için yapılan büyük ve yüksek köprülere **Viyadük** denir. Genellikle dolma yüksekliği 20 metreyi bulduğunda viyadük yapılır.

5. Geçitler

Demiryolunun bir tarafından diğer tarafına geçilmesini sağlayan tesislere **geçit** denir

Demiryolunu geçme durumuna göre geçitler

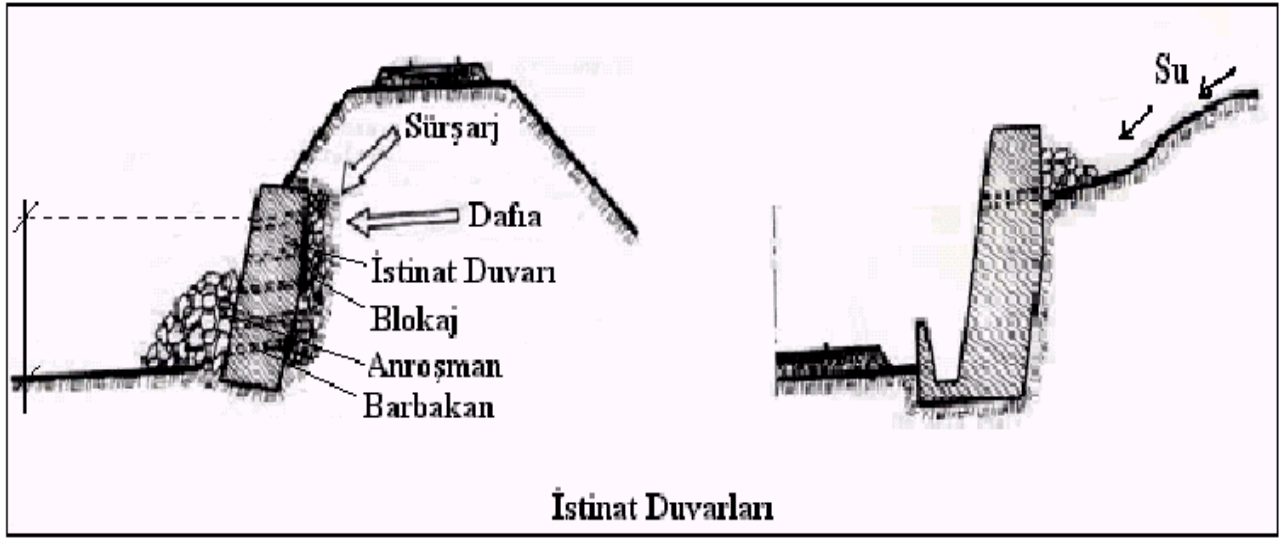
1. Alt geçit
2. Üst geçit
3. Hemzemin geçit

a) Bekçisiz bariyersiz hemzemin geçitler

- b) Bekçili bariyerli hemzemin geçitler
 - i. Mahallinden idareli
 - ii. Uzaktan idareli
- c) Bariyerli otomatik kumandalı geçitler

6- Tahkimat Yapıları ve İstinat Duvarları

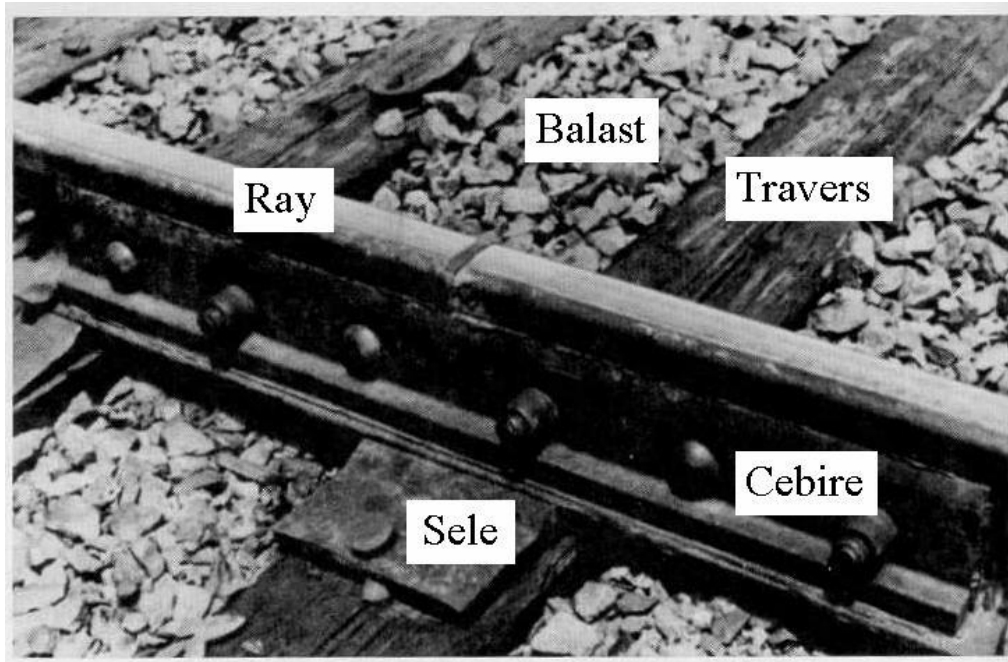
Yukarıda sayılan altyapının yapıldıkları yerlerde tabii zeminin sağlam olmaması, bazı yerlerde yeraltı ve yer üstü suları, kar gibi dış etkenlerin fazla etkisi altında kalması gibi sebeplerle gereğince görevlerini yapabilmeleri ve korunması için yapılan yapı ve duvarlardır.

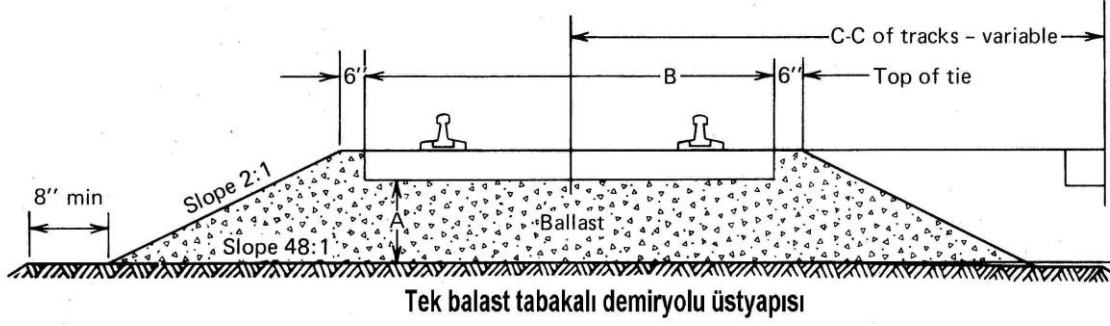
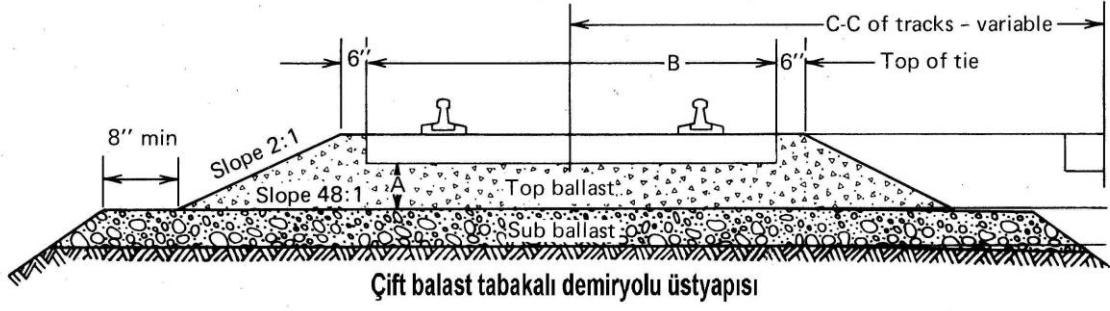


B. ÜSTYAPI

Üstyapı, üzerinde demiryolu araçlarının hareket etmesini sağlayan ve demiryolu araçlarının ağırlığını daha geniş bir yüzey olan platforma aktaran yol kısmına denir. Üstyapı genel olarak iki ray, bunları birbirine bağlayan ve gelen yükü alan traversler ve traverslerden gelen yükü altyapıya aktaran balast veya beton tabakasından oluşmaktadır.

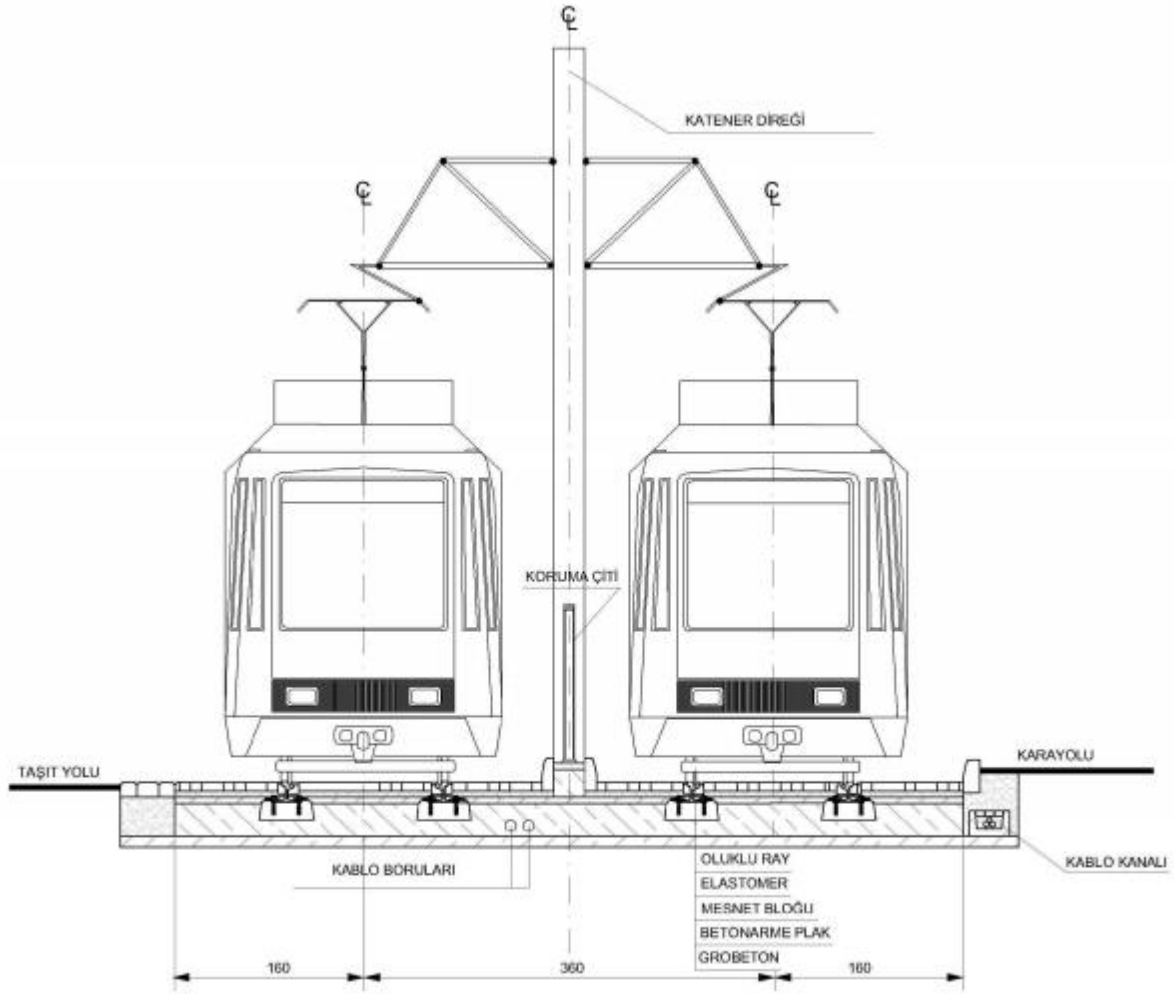
- 1. Balastlı Üstyapı:** Traverslerden gelen yükün altyapıya aktarılması amacıyla balast adı verilen kırılmış sert ve iri kırma taşların kullanıldığı üstyapı tipidir. Aşağıdaki şekiller tipik balastlı üstyapı tiplerini göstermektedir.





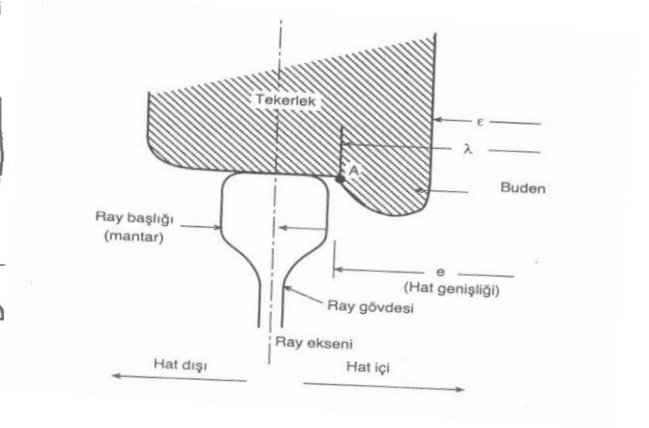
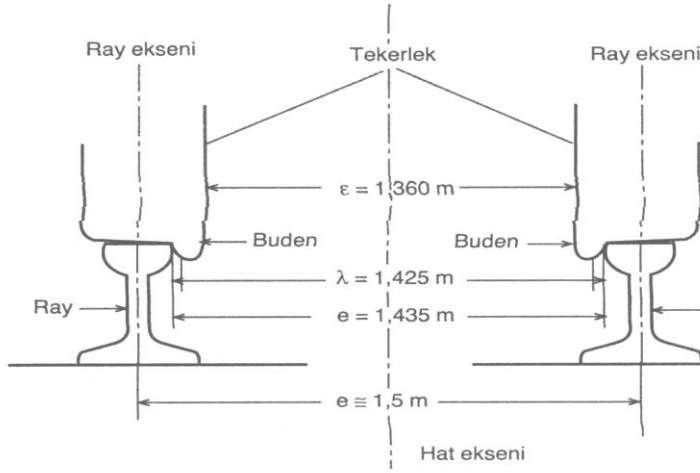
2. **Betonlu Üstyapı:** Traverslerden gelen yükün altyapıya aktarılması amacıyla beton kullanılan üstyapı tipidir. Aşağıdaki şekiller tipik betonlu üstyapı inşasını göstermektedir.





Şekil- 3.3: Hemzemin Hat Enkesiti - Caddede (Örnektir)

Balastlı veya betonlu üstyapılar için yaygın olarak kullanılan standart demiryolu hattı şekli aşağıda gösterilmiştir.



Ekartman: Ray mantarı iç kenarları arasında bulunması gereken yatay mesafeye hat açıklığı veya ekartman denir. Ray mantarı üst seviyesinden 14 mm aşağıdan ölçülür.

Ekartman ölçüleri:

1. Normal ekartman : 1435 mm
2. En az ekartman : 1432 mm
3. En fazla ekartman : 1445 mm

Sürekartman: Demiryolu araçlarının kurplarda rahatça dönebilmesi için yolun açıklığının bir miktar artırılmasıdır. Ölçüleri 1435-1465 mm arasındadır.

Üstyapıyı Meydana Getiren Malzemeler

1- Ray: Üzerinde demiryolu araçlarının rahat hareket etmesini sağlamak ve demiryolu araçlarından gelen ağırlık ve diğer etkileri traverslere iletmek için döşenmiş demir çubuklardır.

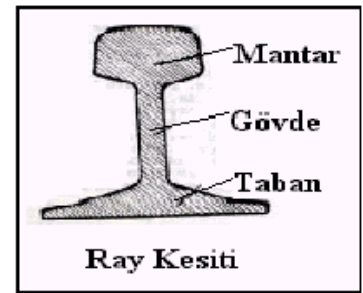
Raylar yumuşak çelikten ve haddeden çekilmek suretiyle elde edilirler. İyi bir ray kırılmayacak kadar sert, aşınmayacak kadar yumuşak olmalıdır.

Raylar şekilde görüldüğü gibi; Mantar, Gövde ve Taban olmak üzere 3 bölümden meydana gelir.

Rayların Sınıflandırılması:

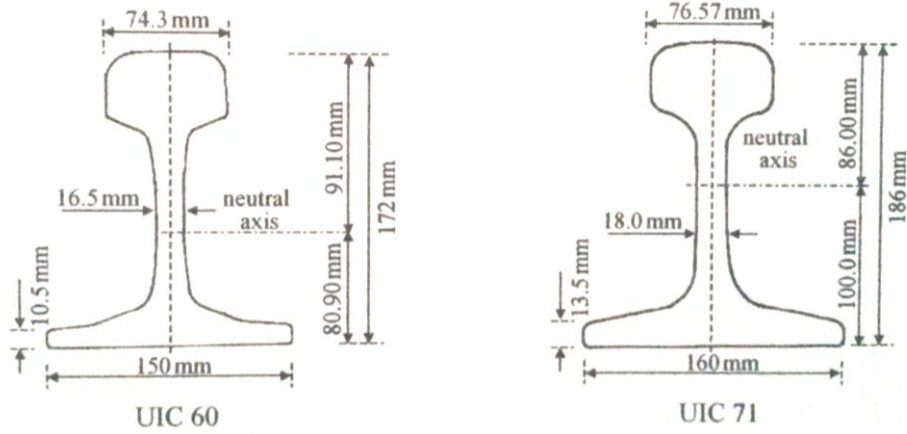
a. Mantar Tipine Göre

- Normal: En çok kullanılan ve bilinen mantar türüdür.
- Oluklu: Genelde şehiriçi tramvay sistemlerinde kullanılan mantar türüdür.



b. Ağırlığına Göre

1 metre rayın ağırlığı ile sınıflandırılmaktadır. Normal hatlarda ray kesitleri Uluslararası Demiryolları Birliği (UIC) tarafından belirlenir. Başlıca tipleri UIC 50 (ağırlık: 50,18 kg/m), UIC 54 (ağırlık: 54,43 kg/m), UIC 60 (ağırlık: 60,34 kg/m), UIC 71 (ağırlık: 71,19 kg/m).²¹



2- Travers: Raydan gelen yükleri daha geniş bir yüzeye yayarak balasta ileten, yolun açıklığını koruyan ve yolu yan etkilere karşı ekseninde tutan, ray altına döşenmiş yol üstyapı malzemelerine **travers** denir.

Travers çeşitleri:

- a) Ahşap Traversler
- b) Beton Traversler
- c) Demir traversler

Her üç çeşit travers de ülkemizdeki hatlarda mevcut olmasına rağmen, son zamanlarda daha çok beton travers kullanılmaya başlanmıştır. Gelişen teknoloji ile birlikte çelik çubuklarla güçlendirilmiş plastik traversler de geliştirilmiştir. Henüz kullanımına başlanmayan bu traverslerin performansını değerlendirmek amacıyla Fransa Demiryolları tarafından 1 km uzunluğunda bir test parkuru hazırlanmıştır.²²

²¹ Railway Management and Engineering, V.A. Profillidis

²² <http://www.lankhorstrail.com/en/rail-sleepers>



Ahşap travers



Demir travers



Beton travers



Plastik travers

3- Balast: Sert ve sağlam taşlardan keskin köşeli, keskin kenarlı olmak üzere 3-6 cm. ebatlarında kırılmış taşlardır. Genelde bazalt veya granit türü taşlar seçilir. Balast tabakası en az 30 cm kalınlığında olmalıdır.

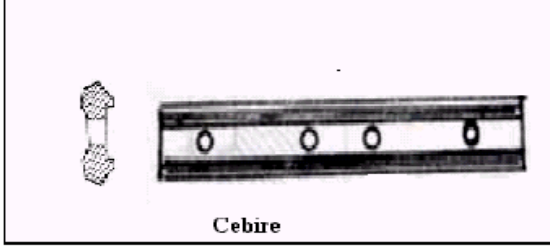
Balastın görevleri:

1. Traversten gelen yükleri platform üzerinde daha geniş bir alana yayar.
2. Traverslere yataklık eder ve yerinde tutar.
3. Yolun esnekliğini sağlar.
4. Yolu ekseninde tutar.
5. Yolu ottan korur.
6. Yağmur sularını süzerek dışarı atar, platformu çamurdan korur.
7. Platformu dona karşı korur.
8. Traverslerin çürümesini önler.

4- Küçük Yol Malzemeleri: Rayı raya bağlayan ve rayı traverse bağlayan malzemelerdir.

a) *Rayı raya bağlayan küçük yol malzemeleri*

i. **Cebire:** İki rayın uçlarını birbirini bağlamak için kullanılan demir çubuklara denir.

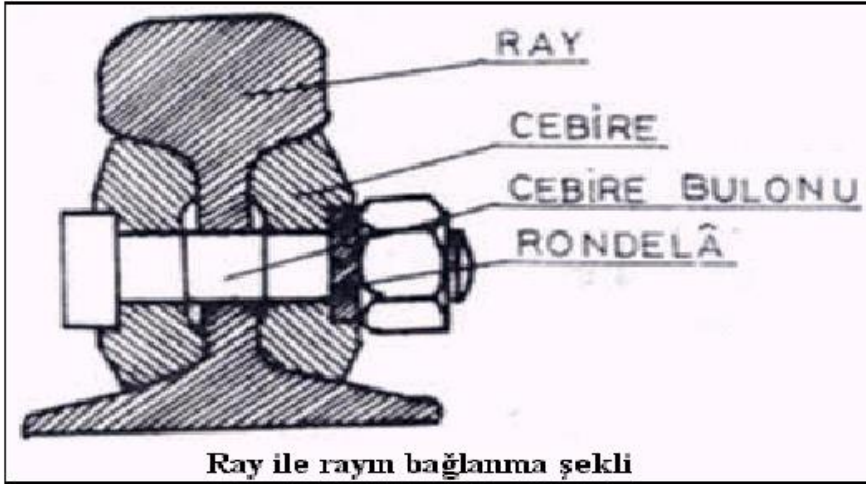


ii. **Cebire Bulonu:** Baş, gövde ve somundan ibarettir. Bulon somunları yol kontrolünde kolaylıkla görülebilmesi için yolun iç kısmına gelecek şekilde bağlanır.

iii. **Rondela:** Cebire ile cebire bulonu somunu arasına konulur. Bağlantının sürekli gergin ve sıkı olmasını sağlar. Tek katlı, çift katlı ve üç katlı tipleri vardır.



İki rayın cebire ile bağlanma şekli aşağıda gösterildiği gibidir.



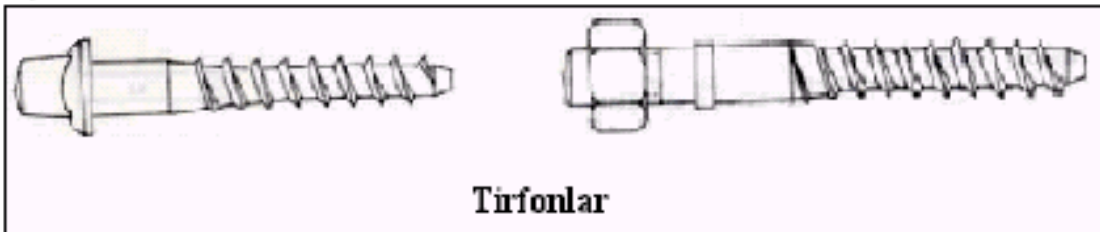


b) *Rayı traverse bağlayan küçük yol malzemeleri*

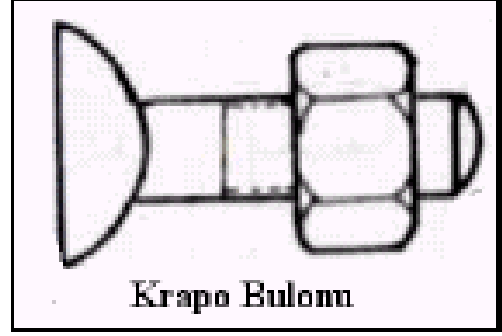
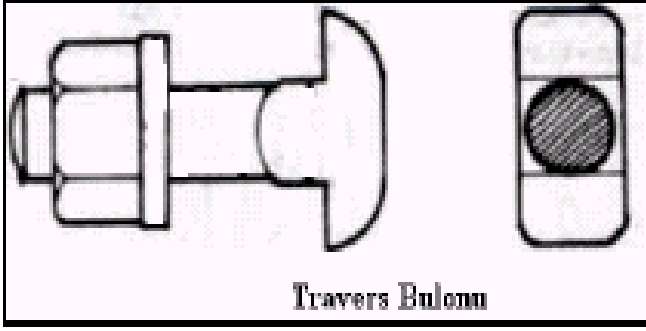
Selet: Ray tabanı ile travers arasına konur. Raydan gelen yükleri daha geniş bir yüzeye traverse iletir. Ekartmanı muhafaza eder, rayların devrilmesini önler. Bazı tip yollarda raylara 1/20 eğimin verilmesini sağlar. Seletler demir ve ahşap olmak üzere iki çeşittir.



ii. Tirfon: Ahşap ve beton traversli yollarda ray tabanını traverse ya da rayı selet aracılığı ile traverse bağlamak için kullanılır.

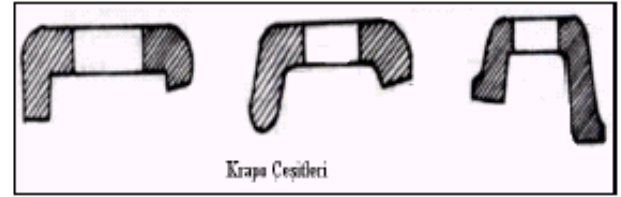
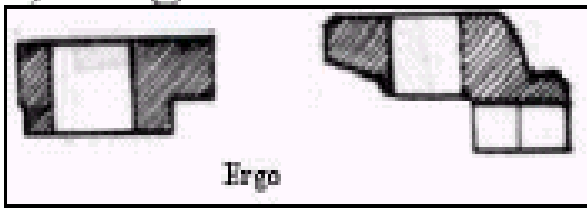


iii. Travers Bulonu: Demir traverslerde kullanılır. Ergo ve krapo aracılığı ile rayı traverse bağlar.



iv. Krapo Bulonu: K tipi bağlantıda kullanılır. Rayın nervürlü selete krapo aracılığı ile bağlanmasını sağlar. Başlık kısmı nervürlü selettteki özel yuvasına uyumlu şekil ve boyuttadır.

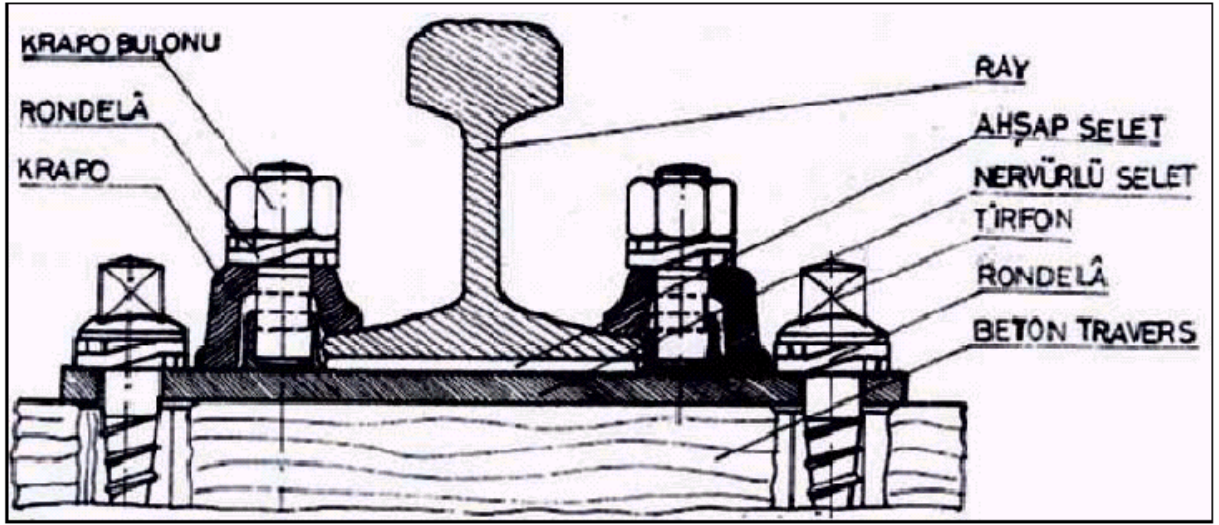
v. Ergo: Demir traverslerde kullanılır. Rayla traversin bağlantısının sıkı olmasını sağlar.



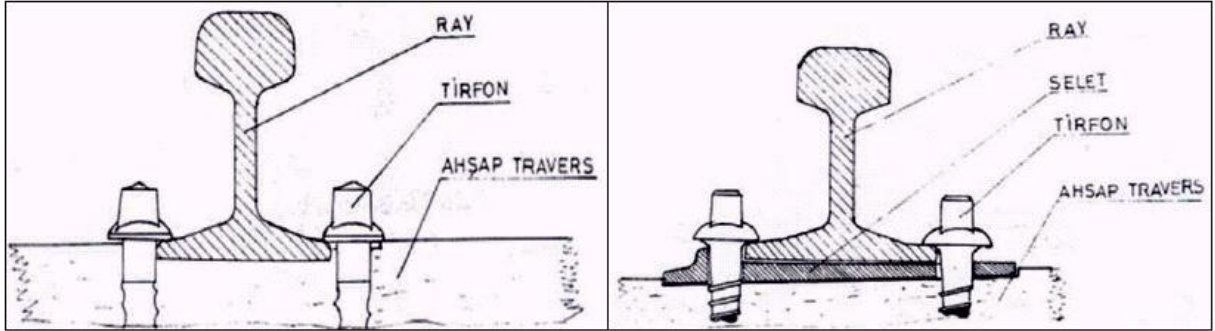
vi. Krapo: Demir traverslerde ergo ile birlikte kullanıldığında ergo üzerine kapak olarak;

Travers türüne göre bağlantı çeşitleri aşağıda gösterilmiştir:

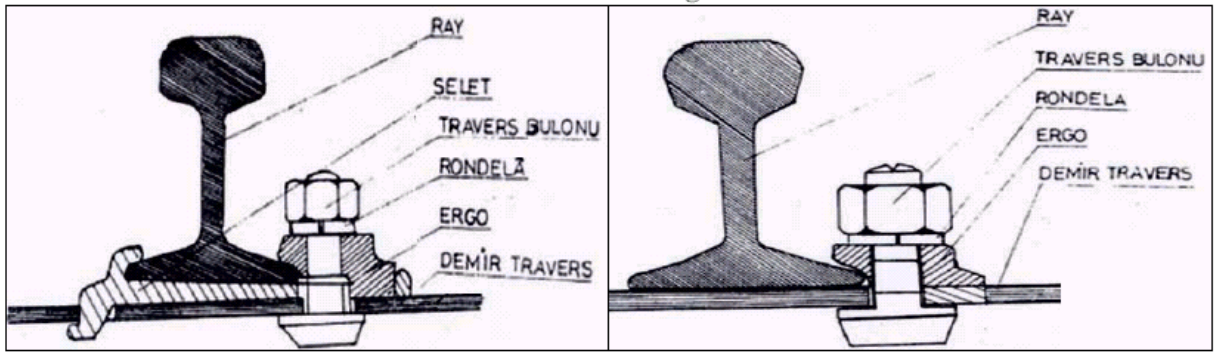
K Tipi Bağlantı



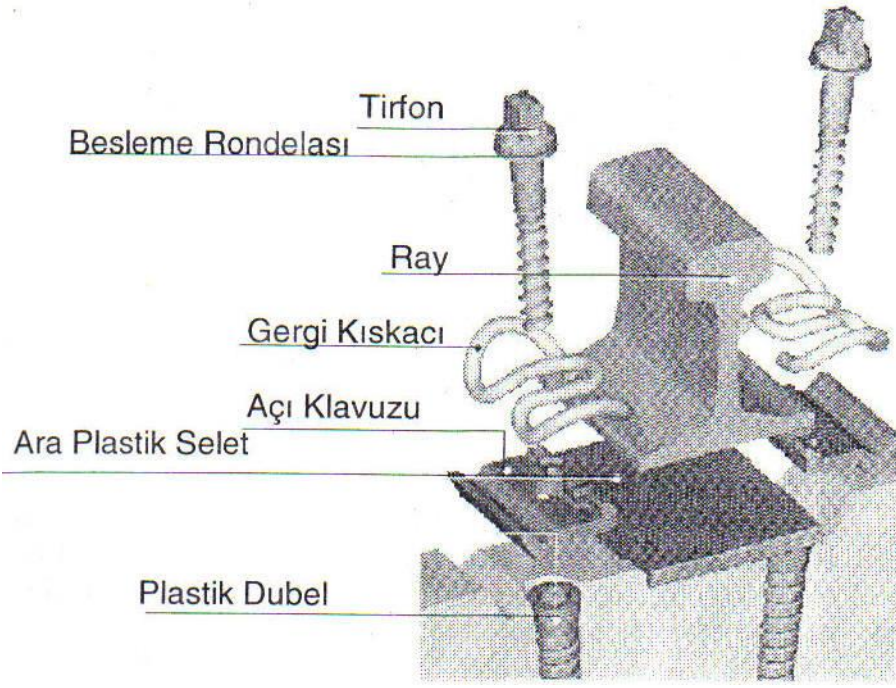
Ahşap Traverste Bağlantı



Demir Traverste Bağlantı



Günümüzde en çok kullanılan bağlantı türü HM tipi bağlantıdır. Yüksek hızlı hatlara uygundur ve kullanılan plastik malzemeler nedeniyle elektrik yalıtımı sağlamaktadır.



Hem ray hem de bandaj çok sert çelikten imal edildiği için zamanla aşınırlar. Raydaki aşınma doğru yollarda rayın üst yüzeyinden, kurplarda hem üst yüzey hem de yandan olur. Aşınma, yolun trafik yoğunluğu ve araçların hızı ile bağlantılı olarak az veya çok olur.

Demiryollarında hızı sınırlayan etkenler

1. Kurplar: Aliymanda yapılan hız, dar kurplu bir yolda yapılamaz.
2. Eğimler: Sıfır meyilli yolda yapılan hız, eğimli yolda yapılamaz. Yüksek eğimlerde demiryolu araçları hızla tırmanamazlar.
3. Yol malzemelerinin durumu: Yeni ve bakımlı yollarda yapılan hız, malzemesi eski, yıpranmış ve iyi bakılmamış yollarda yapılamaz.
4. Yol altyapısının durumu: Altyapısı yeterince sağlam ve dayanıklı olmayan yollarda fazla hız yapılamaz.
5. Demiryolu araçlarının yapısı: Demiryolu araçları, imal edilirken belirli bir hız dikkate alınarak imal edilirler. Lokomotif kendisi için tasarlanan maksimum hızın üzerine çıkamaz. Vagonlarda ise maksimum hızın üzerine çıkıldığında arızalar oluşabilir.
6. Hava şartları: Normal ve açık havalarda yapılan hız, kar, tipi ve yağmurlu havalarda yapılamaz.

Azami hız: Yolun yapısı, demiryolu araçlarının teknik yapıları ve taşınan hamulenin (yükün) durumları dikkate alınarak o bölgede yapılabilecek en fazla hızdır.

Azami hızın aşılmasının sonuçları:

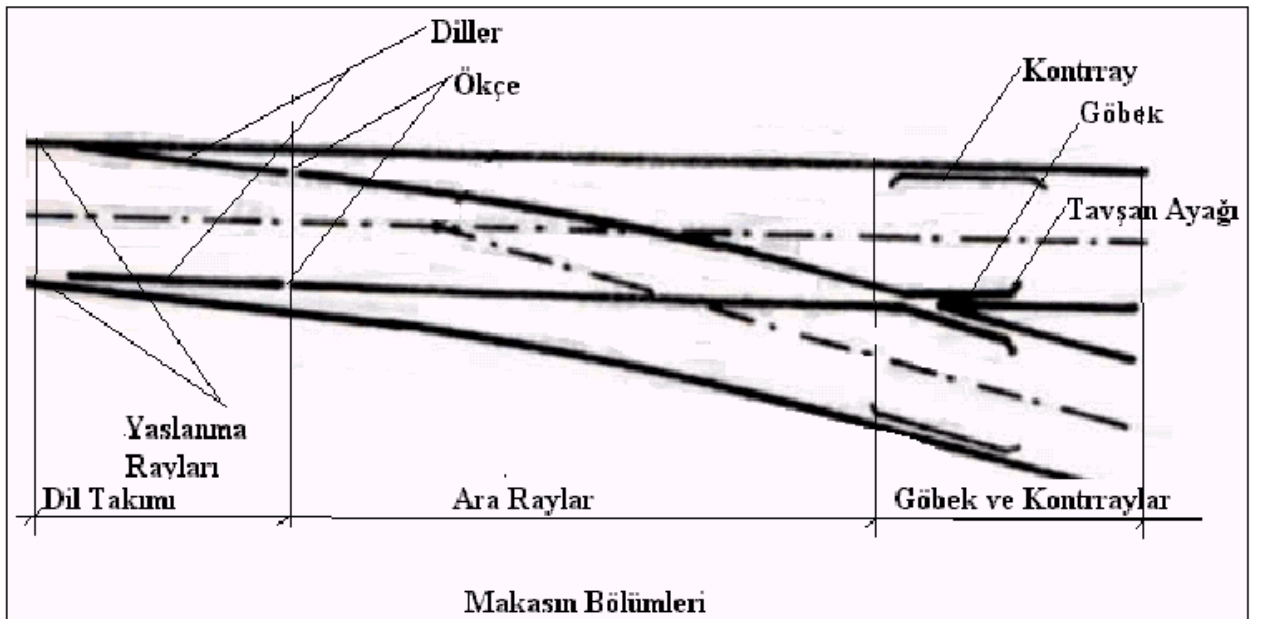
1. Yol malzemesi normal ömründen daha kısa zamanda aşınır, yıpranır.
2. Yol daha çabuk bozulur.
3. Çeken ve çekilen araçlarda aşınmalar, yıpranmalar meydana gelir.
4. Konforu etkiler. Meydana gelecek sarsıntılardan yolcular rahatsız olur. Yük vagonlarındaki yüklerde kaymalar meydana gelir.
5. Dray ve devrilme olayları meydana gelebilir.

MAKASLAR: Demiryolu araçlarının bir yoldan diğer yola geçmelerini sağlayan yol tesisleridir.



Basit bir makasın bölümleri

- 1- Dil tertibatı,
- 2- Ara Raylar,
- 3- Göbek ve Kontraylar



1- Dil tertibatı: Makasta araçların yol değiştirmesini sağlayan kısımdır.

- a. 2 adet dil
- b. 2 adet yaslanma rayı
- c. 1 veya 2 adet gergi çubuğu
- d. 1 adet manevra çubuğu
- e. Makas topu
- f. Makas kürsüsü
- g. Makas feneri
- h. Kilitleme tertibatı
- i. Dil kaydırma plakaları
- j. Dil ile yaslanma rayı arasında ara takozları ve sonunda ökçe takozları
- k. Yeteri kadar travers ve bağlantı malzemesi

2. Ara raylar: Makas dil tertibatı (takımı) ile göbek takımını birleştiren raylara denir.

3. Göbek ve kontrraylar: Göbek, makasın doğru yol rayı ile sapan yol rayının birbirini keştiği noktaya denir. Bu keşişme noktasından budenlerin geçişini sağlamak için, iki ray keşişme noktasından başlayarak dışa doğru bükülürler ve tavşan ayağı denilen eğrileri oluştururlar. Keşişme noktasında tekerlek budenlerinin serbestçe geçmesi için bir boşluk bırakılır. Bu boşlukta araçların yol değiştirmemesi için karşılarına kontrraylar (karşı ray) bağlanır.

Makasların Sınıflandırılması

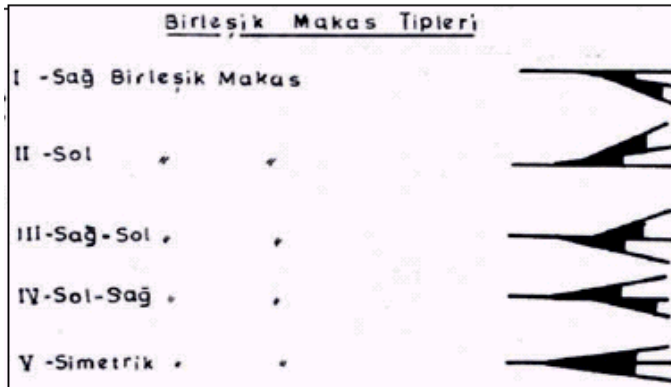
1. Yönlerine göre makaslar

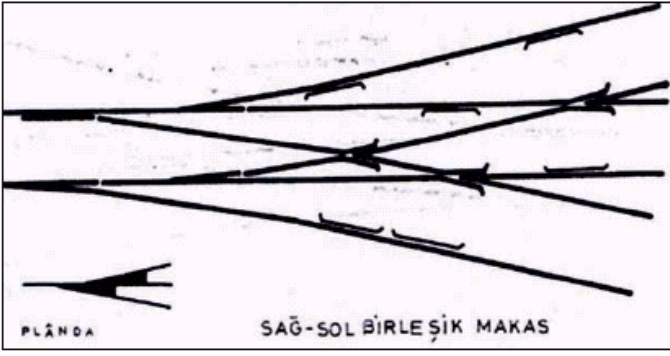
- a. Sağ makas
- b. Sol makas
- c. Simetrik makas
- d. Münhani (kurpta) makas

2. Gördükleri işe göre makaslar

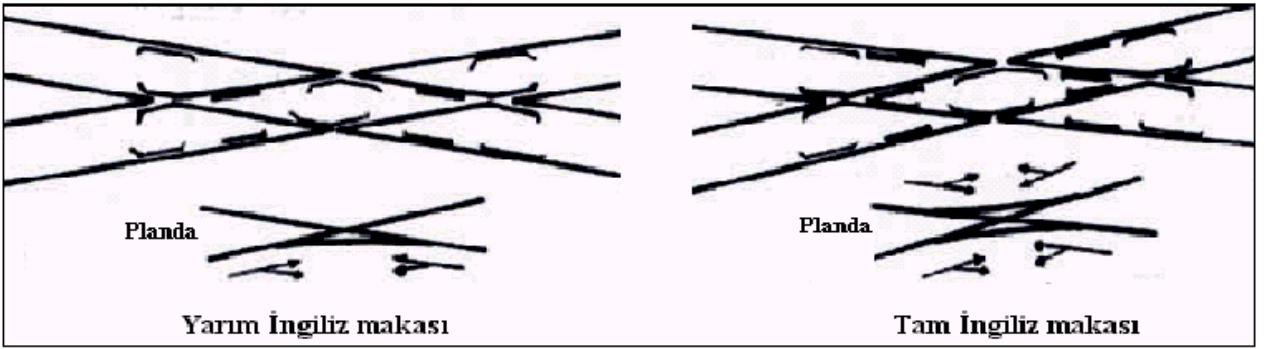
- a. Basit makas
- b. Muzaaf (birleşik) makas
 1. Sağ birleşik makas
 2. Sol birleşik makas
 3. Sağ-sol birleşik makas
 4. Sol-sağ birleşik makas
 5. Simetrik birleşik makas
- c. Çapraz (İngiliz) makas
 1. Tam İngiliz makası
 2. Yarım İngiliz makası
- d. Kruvazman
- e. S makas
- f. Kutrani (Çapraz S makas)

Muzaaf (Birleşik) Makas

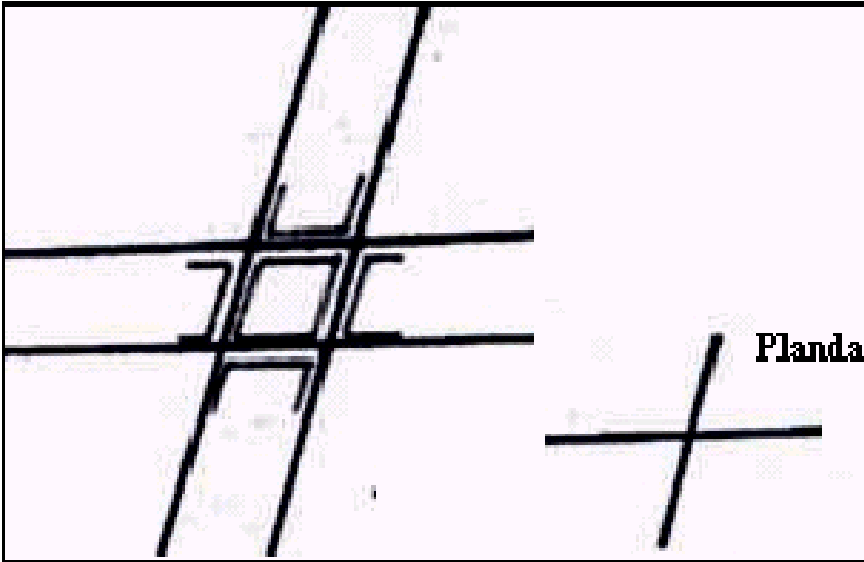




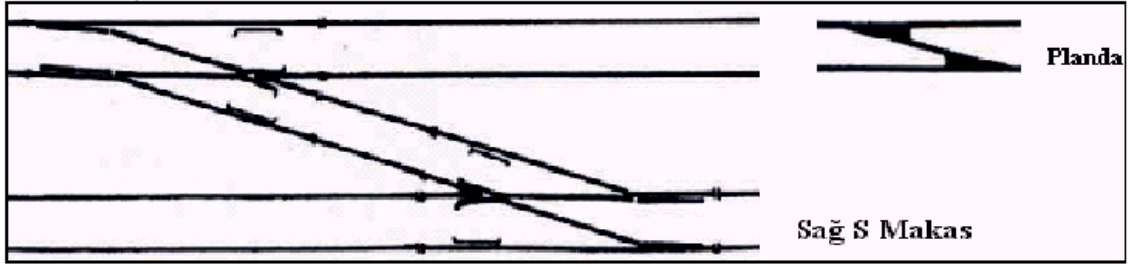
Çapraz (İngiliz) makası



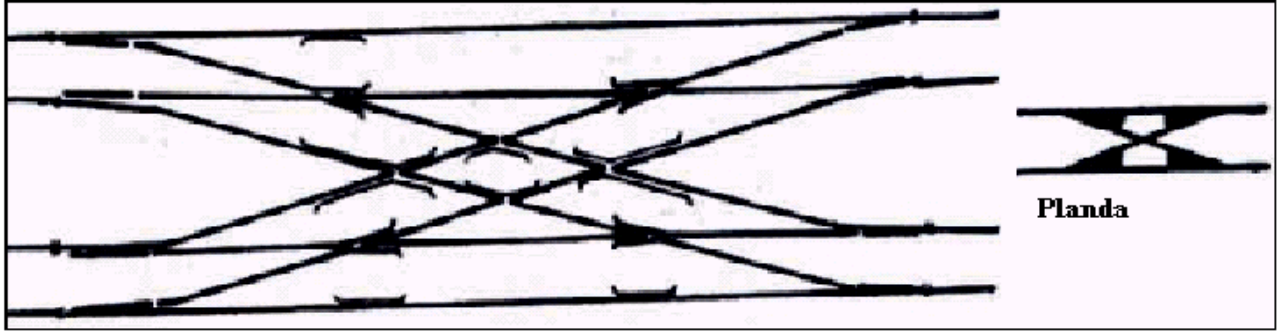
Kruvazman



S Makas



Kutrani (Çapraz S Makas)



Limit Taşları

Makas sonrasındaki iki yolda aynı anda iki aracın birbirlerine çarpmadan geçebildikleri noktaya konur. Bu, makasın iç ray dizileri, mantar dış yüzleri arasındaki 2 metre olduğu yerdir.