ESKİŞEHİR-KÖSEKÖY HIZLI TREN HATTINDAKİ KÖPRÜ VE VİYADÜKLERİN ÜSTYAPILARININ TASARIMI

C. Özkaya[1], Z. Harputoğlu[1], G. Çetin[1], F. Tulumtaş[1], A. Gıcır[2]
[1]*Yüksel Proje Uluslararası AŞ Birlik Mah. 450. Cad. No:23 Çankaya Ankara*
[2]*Türkiye Cumhuriyeti Devlet Demiryolları 2. Demiryolu Yapım Grup Müdürü Bilecik*
E-Posta: gcetin@yukselproje.com.tr

ÖZET:

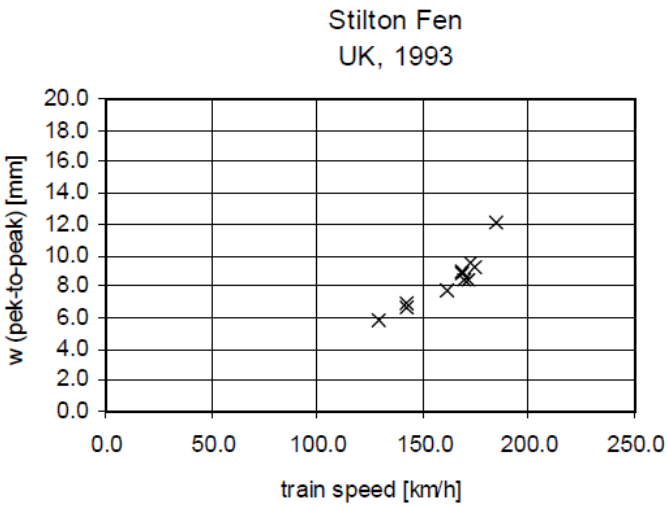
Eskişehir-Köseköy hızlı tren hattı, Ankara ve İstanbul şehirleri arasında ulaşımı sağlayacak olup şu anda inşaatı devam etmektedir. Proje hızı 250 km/saat olmakla beraber, hesaplarda kullanılan maksimum hız 300 km/saat'dir. Uluslararası şartnameler maksimum proje hızının belli bir değerin üzerinde olduğu durumlarda trenin geçmesi esnasında üstyapıda oluşacak düşey ivmelerin değişik hız değerlerinde yapılacak dinamik analizlerle tespitini ve şartnamelerde belirtilen üst sınırlardan az olmasını öngörmektedir. Maksimum düşey ivme sınırı balastın stabilitesinin korunması, yolcu konforu ve yapılarda rezonanstan kaynaklanabilecek istenmeyen etkilerin önüne geçilmesini amaçlamaktadır. Düşey ivme limitini sağlayabilmek amacı ile prekast öngerilimli kirişlerden oluşan, birkaç açıklık boyunca sürekli bir üstyapı sistemi seçilmiştir. Süreklilik diyafram kirişler vasıtası ile sağlanmıştır. Üstyapı sisteminin sürekli olması ve genellikle altyapıya rijit bağlı olması zamana bağlı deformasyonların önemini arttırmıştır.

ANAHTAR KELİMELER: Düşey İvme, Rezonans, Zamana Bağlı Deformasyon

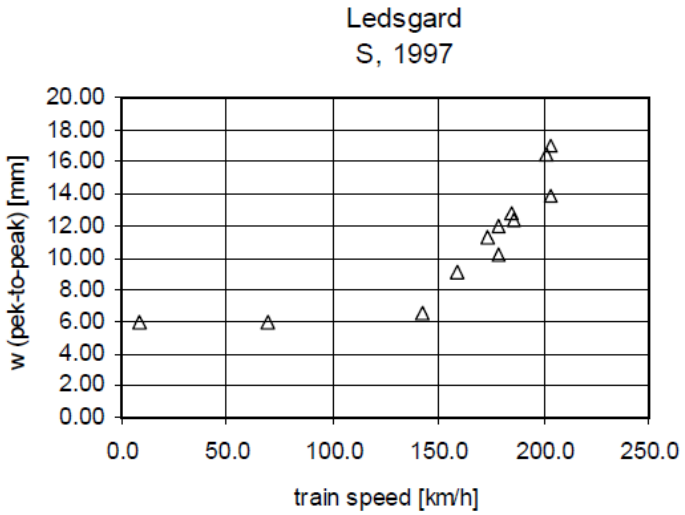
1. GİRİŞ

Ülkemizde hızlı tren demiryolu hatlarının önemi gün geçtikçe artmakta ve yeni hatların inşaatına başlanmaktadır. Bunlardan biri de, şu anda faaliyette olan Ankara-Eskişehir hattının devamı olan Eskişehir-Köseköy hızlı tren hattıdır. Bu hat Ankara ile İstanbul şehirlerini birbirine bağlamaktadır. Bu hattın inşaatının önemli bir bölümü şu an itibari ile tamamlanmıştır. Hattın proje hızı 250 km/saat'tir.

Hızlı trenlerin maksimum hızları genel olarak 200 km/saat'dan fazla olduğu için üzeriden geçtikleri zeminle yada yapıyla rezonans riski mevcuttur. Eğer trenin hızı ve dingil aralıkları ile ilgili olan yükleme frekansı yapının veya zeminin titreşim frekansıyla uyuşursa, yapıda veya zeminde beklenenden çok daha yüksek deformasyonlar oluşabilmektedir. Bu da hem hatta zarar vermekte hem de üzerinden geçen trenin ve yolcuların güvenliğini tehlikeye atabilmektedir. Genel olarak yapısal tasarımcılar sadece hızlı tren hatlarındaki yapıların performansıyla ilgilenmekle beraber, hızlı tren hatlarında yumuşak zeminler de ciddi dinamik problemlere yol açabilmektedir. Bu duruma örnek olarak İngiltere'de bir hızlı tren demiryolu hattında yumuşak silt ve kil tabakalarının üzerinde yer alan balastın hızlı tren yüklemesi altındaki düşey deformasyonlarını örnek gösterebiliriz (Woldringh & New, 1999). Şekil 1'den de görüleceği üzere tren hızındaki küçük artışlar bile balastın düşey deformasyonunu önemli miktarda arttırmaktadır. Bu problem, zemin yumuşak olduğundan karakteristik hızının düşük olmasından kaynaklanmaktadır. İsveç'te de yumuşak zeminlerden dolayı problem yaşanmış olup, maksimum tren hızında azaltmaya gidilmesi gerekmiştir. Şekil 2'de İsveç'teki örnekte zemin deformasyonlarının tren hızıyla nasıl değiştiği gösterilmiştir. Zemin koşullarının olumsuz olduğu bölgelerde, zemin iyileştirmesi yapılması hem konfor hem de güvenlik için gerekmektedir.

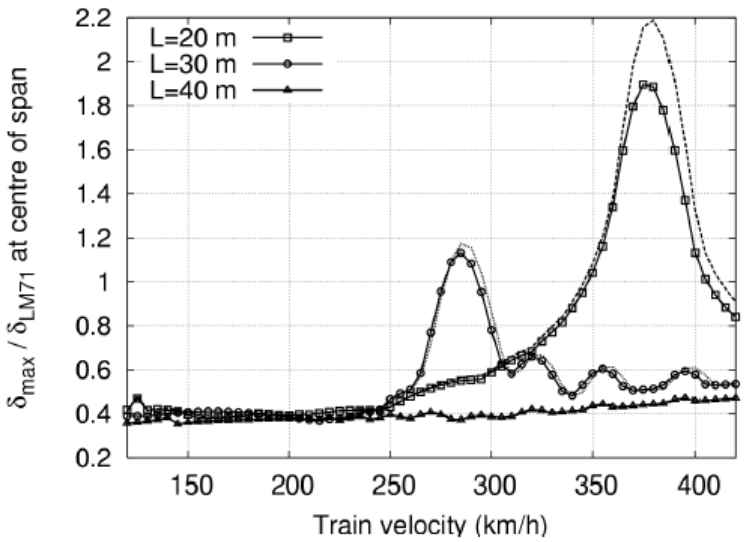


Şekil 1 İngiltere'de Yumuşak Zeminlerin Üstündeki Hızlı Tren Hattındaki Düşey Deformasyonlar (Woldringh & New, 1999).



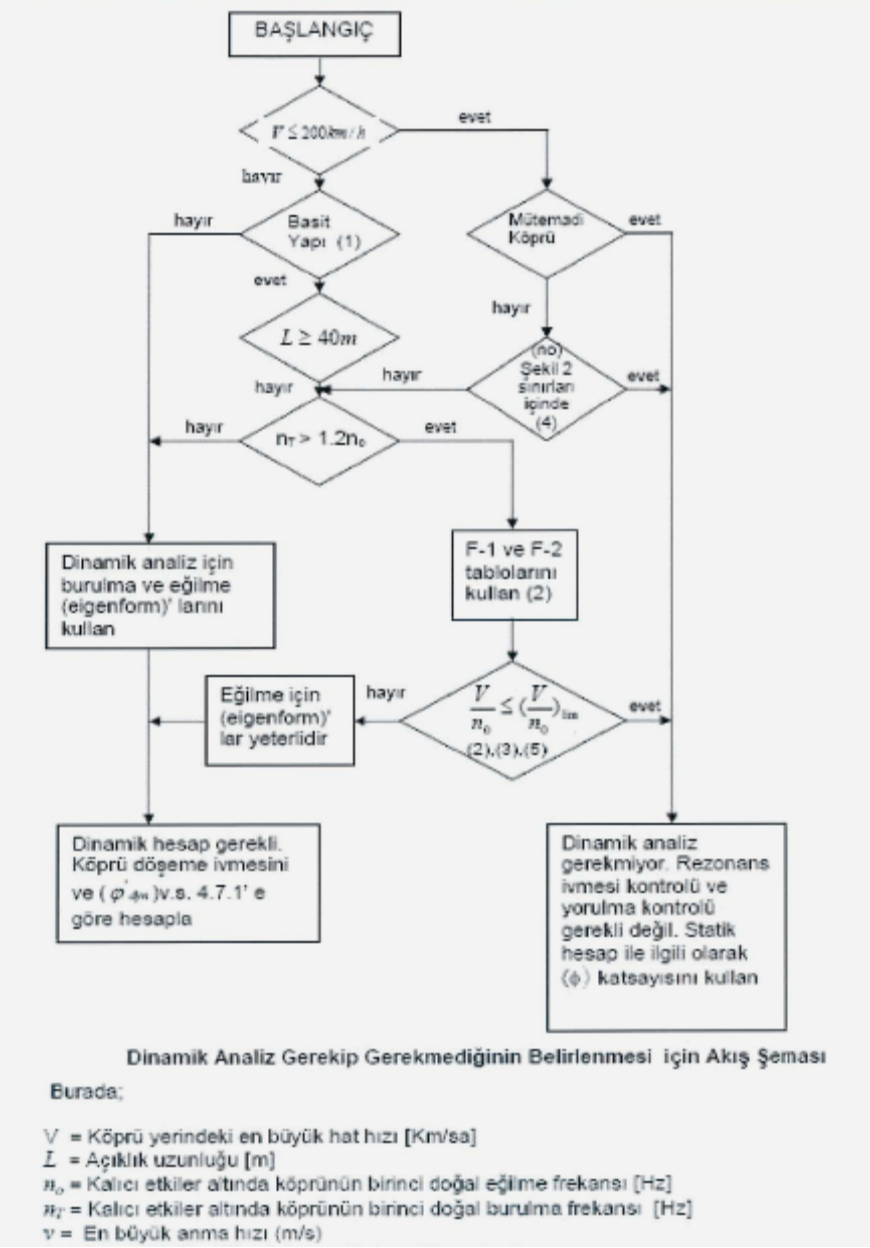
Şekil 2 İsveç'te Yumuşak Zeminlerin Üstündeki Hızlı Tren Hattındaki Düşey Deformasyonlar (Woldringh & New, 1999).

Yapılarda da trenden kaynaklanan yüklemenin frekansı, yapının frenkasıyla örtüştüğü zaman bu durum rezonans olarak adlandırılmakta ve yapıda ciddi düşey deformasyonlar ve ivmeler ortaya çıkabilmektedir. Şekil 3'de basit açıklıklı bir yapıdaki düşey ivmelerin tren hızı ile nasıl değiştiği gösterilmektedir (Goicolea ve diğ., 2006). Şekil 3'den de görülebileceği üzere belli hız değerlerinde düşey deformasyonlar hızla artmaktadır. Kritik hız değerlerini bulmak için dinamik analiz yapmak veya literatürdeki basitleştirilmiş formülleri kullanmak gerekmektedir.



Şekil 3 Tren Hızı ile Yapısal Deformasyon İlişkisinin Örnek Bir Yapı Üzerinde Gösterimi (Goicolea ve diğ., 2006).

Ülkemizde hızlı tren hatlarının ve sanat yapılarının tasarımında genel olarak Eurocode şartnamesi kullanılmaktadır. Eurocode (prEN 1991-2, 2002) şartnamesi hızlı tren köprü ve viyadüklerinde yapılacak olan analizleri belli koşullara bağlamış olup bunu da bir akış şeması olarak sunmuştur. Şekil 4'den de görülebileceği üzere yapılacak analiz tipleri ve sayısı çok sayıda parametreye bağlıdır. Basit yapılar için analitik formülasyonlar kullanılabilmekle beraber, yapı büyüdükçe analizler de karmaşıklaşmaktadır.



Dinamik Analiz Gerekip Gerekmediğinin Belirlenmesi için Akış Şeması

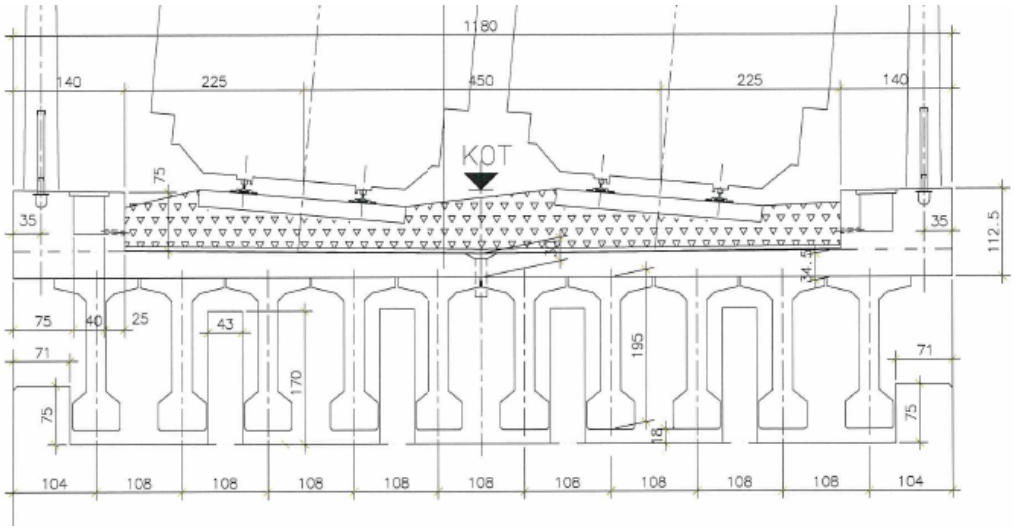
Burada;

V = Köprü yerindeki en büyük hat hızı [Km/sa]
L = Açıklık uzunluğu [m]
n_o = Kalıcı etkiler altında köprünün birinci doğal eğilme frekansı [Hz]
n_T = Kalıcı etkiler altında köprünün birinci doğal burulma frekansı [Hz]
v = En büyük anma hızı (m/s)

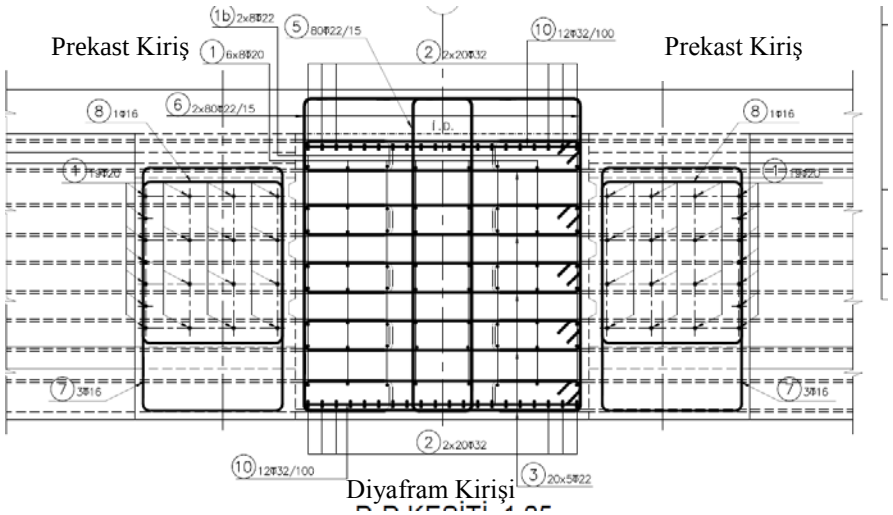
Şekil 4 Dinamik Analiz için Akış Şeması (Eurocode, 2002).

2. VİYADÜK VE KÖPRÜLERLE İLGİLİ GENEL BİLGİLER

Hatta yer alan köprü ve viyadüklerde kullanılan üstyapı prekast öngerilimli kirşlerden oluşmakta olup, platform genişliği 12.00 metredir. Şekil-5'den de görülebileceği üzere enkesitte 10 adet kiriş yer almakta olup kirişler düşey ivme sınırını sağlayabilmek için 3 ila 5 açıklık boyunca süreklidir. Bir başka deyişle, genleşme derzleri 3,4 ya da 5 açıklıkta bir mevcuttur. Kirişler her açıklık için ayrı üretildiğinden bunlar ayak/aks üzerlerinde süreklilik sağlayabilmek için Şekil 6'de gösterilen diyafram kirişleri ile rijit olarak birbirlerine bağlanmışlarıdır.

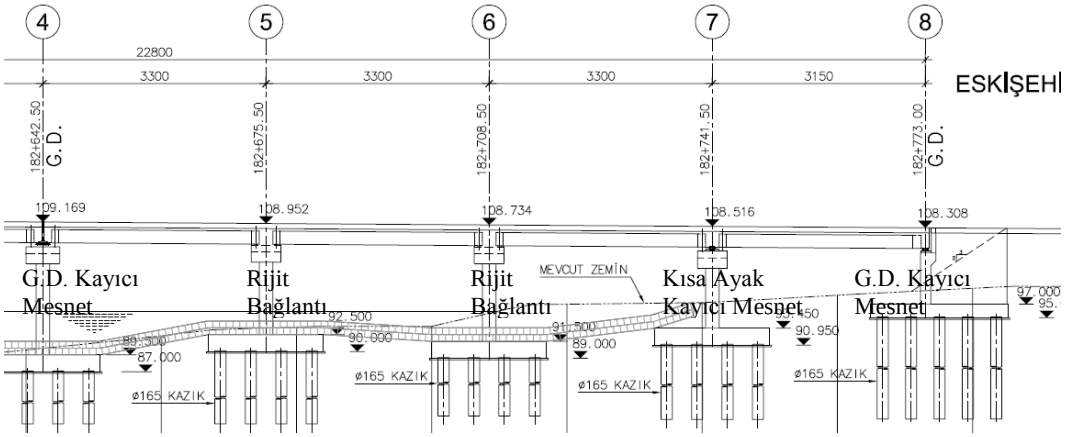


Şekil 5 Tipik Üstyapı Enkesiti.



Şekil 6 Tipik Prekast Kiriş-Diyafram Kirişi Bağlantı Detayı.

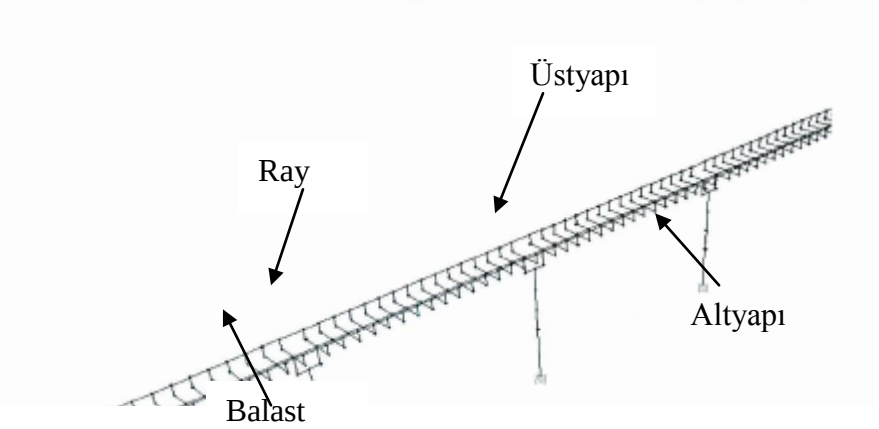
Yüksekliği yaklaşık 9 metre'den yüksek olan ayaklar genleşme derzi akslarında yer almadıkları durumda üstyapıya diyafram kirişleri vasıtası ile monolitik-rijit olarak bağlanmışlardır. Yüksekliği daha az olan ayaklar ve genleşme derzi akslarındaki ayaklarda ise genel olarak eğri yüzeyli kayıcı mesnetler kullanılmıştır. Monolitik bağlantı demiryolu hatlarında yer alan sanat yapıları için şartnamelerde belirlenmiş olan servis durumu kriterlerini sağlamak ve mesnetlerden kaynaklanan maliyet artışını azaltmak için düşünülmüştür. Bu sisteme bir örnek Şekil-7'de gösterilmiştir.



Şekil 7 Tipik Bir Köprüdeki Üstyapı-Altyapı Bağlantısı.

3. ANALİZLER VE ÜSTYAPI TASARIMI

Dinamik analizler için SAP 2000 (Computers & Structures, 2010) programı kullanılmıştır. Dinamik analizler için analiz modeli SAP 2000 programında 3-boyutlu olarak oluşturulmuş olup, altyapı, üstyapı, balast ve raylar analiz modeline dahil edilmiştir. Analiz sürelerini azaltmak için, dinamik analizlerde genleşme derzleri arasındaki bir modül dikkate alınmıştır. Şekil 8'de tipik bir analiz modeli gösterilmiştir.

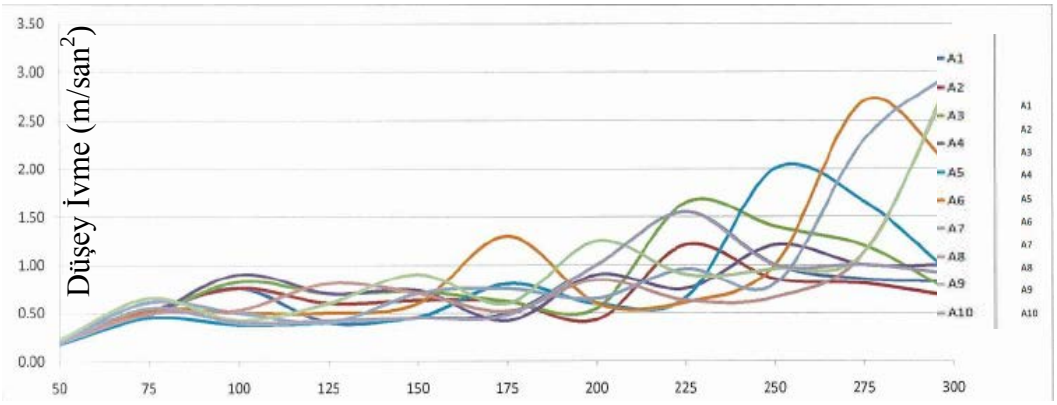


Şekil 8 Dinamik Analizlerde Kullanılan Tipik Bir Model.

Üstyapı sistemi sürekli olduğu için kullanılan şartnameye göre çok sayıda tren kullanılarak dinamik analiz yapılması ve düşey ivmelerin kontrolü gerekmektedir. Bu nedenle, ilk etapta hız aralıkları düşük tutularak analizler yapılmıştır. Fakat, toplam analiz sürelerinin günlerle ifade edilen süreleri bulması neticesinde hız aralıkları 25 km/saat'e çıkartılmıştır. Şekil 9'da yapılan dinamik analizlerin özeti sunulmuştur. Analizler neticesinde Şekil 10'da da görüldüğü üzere düşey ivmeler her zaman balastlı hatlar için üst limit olan 3.5 m/san^2'nin altında kalmıştır.

Analiz Adı	Açıklama	Analiz Adedi
M71	LM-71 treni için yapılan hareketli yük analizi	1
SW-0	SW-0 treni için yapılan hareketli yük analizi	1
SW-2	SW-2 treni için yapılan hareketli yük analizi	1
HSLM-A1 ... A10	HSLM-A1 ... A10 trenleri için yapılan hareketli yük analizi	10
A1-50 ... A10-50	50 km/st hızda HSLM-A1 ... A10 trenleri için yapılan dinamik analiz	10
A1-75 ... A10-75	75 km/st hızda HSLM-A1 ... A10 trenleri için yapılan dinamik analiz	10
A1-100 ... A10-100	100 km/st hızda HSLM-A1 ... A10 trenleri için yapılan dinamik analiz	10
A1-125 ... A10-125	125 km/st hızda HSLM-A1 ... A10 trenleri için yapılan dinamik analiz	10
A1-150 ... A10-150	150 km/st hızda HSLM-A1 ... A10 trenleri için yapılan dinamik analiz	10
A1-175 ... A10-175	175 km/st hızda HSLM-A1 ... A10 trenleri için yapılan dinamik analiz	10
A1-200 ... A10-200	200 km/st hızda HSLM-A1 ... A10 trenleri için yapılan dinamik analiz	10
A1-225 ... A10-225	225 km/st hızda HSLM-A1 ... A10 trenleri için yapılan dinamik analiz	10
A1-250 ... A10-250	250 km/st hızda HSLM-A1 ... A10 trenleri için yapılan dinamik analiz	10
A1-275 ... A10-275	275 km/st hızda HSLM-A1 ... A10 trenleri için yapılan dinamik analiz	10
A1-300 ... A10-300	300 km/st hızda HSLM-A1 ... A10 trenleri için yapılan dinamik analiz	10
		123

Şekil 9 Yapılan Dinamik Analizlerin Özeti.



Şekil 10 Düşey İvme Kontrolü.

Hızlı tren köprülerinde çok dikkat edilmesi gereken diğer iki husus ise trenin fren/demeraj durumunda üstyapının yatay ötelenmesidir. Şartnameler bu değeri 5 mm ile sınırlamıştır. Eğer bu değer aşılırsa stabilite problemleri ortaya çıkabilir. Üst sınır değeri çok düşük olduğundan tasarımcının mesnetlenme koşullarına azami dikkat etmesi gerekmektedir. Bu şartı sağlayabilmek için genleşme derzi aksları hariç üstyapı-alt yapı bağlantısı belli bir kolon yüksekliğinin üzerinde monolitik-rijit olarak tasarlanmıştır. Alternatif olarak, tasarımcı köprü üstyapısını değişik türdeki mesnetler üzerine de oturtabilir. Fakat bu durumda, tasarımcı olumsuz bütün koşulları göz önünde tutarak mesnet parametrelerini ayarlamalıdır. Örnek olarak bu hatta kullanılan kayıcı mesnetlerin dinamik sürtünme katsayısı oldukça yüksek bir değer olan 0.12 seçilmiştir.

Raylarda ısı değişimi, fren-demeraj, ve kiriş eğilmesinden kaynaklanan gerilmelerin üst limitleri şartnamelerde belirtilmiştir. Bu değer kullanılan şartnamede basınç için 72 MPa, çekme için de 92 MPa'dır. Genel olarak, gerilme limitleri sürekli üstyapılarda genleşme derzlerinin yakınlarında problem olmaktadır. Bu değerlerin özellikle basınç durumunda aşılıp raylarda burkulma riskinin oluşmaması için tasarımcı mesnet rijitliklerini ve bağlantı koşullarını dikkatle kontrol etmelidir.

Bu hatta kullanılan üstyapı sistemi sürekli bir sistem olduğundan ve birçok kez altyapıya rijit olarak bağlandığından üstyapıda sünme ve büzülme gibi zamana bağlı deformasyonlar önem kazanmıştır. Analizlerde bunlar dikkate alınmış olup öngerme kuvvetinde büyük kayıplara neden olabilecekleri saptanmıştır. Bu nedenle kirişlerin üretildikten sonra 90 gün boyunca açıkta bekletilerek zamana bağlı deformasyonların önemli bir miktarının oluşması beklenmiştir ve bu sayede de yapıda oluşacak ilave gerilmelerin bir miktarı engellenmiştir.

4. SONUÇ

Yüksek hızlar nedeniyle hızlı tren hatlarındaki zemin koşulları ve yapıların özellikleri önem kazanmaktadır. Literatürde yumuşak zemin koşulları veya yetersiz yapısal özellikler nedeniyle yüksek hızlı tren hatlarında beklenmeyen deformasyonlar ve çatlaklar olduğu belirtilmektedir. Bu nedenle şartnameler, bu hatlar üzerinde inşa edilecek yapılar için çok sayıda kontrolü içermektedir.

Eskişehir-Köseköy hızlı tren hattındaki köprü ve viyadüklerde düşey ivme limitini sağlayabilmek için 3 ila 5 açıklık boyunca sürekli bir üstyapı seçilmiştir. Proje hızı 200 km/saat'in üzerinde olduğu için diğer yapısal şartlar da gerektirdiğinden dinamik analizler gerçekleştirilmiş ve trenin geçişi esnasında oluşan düşey ivmenin limitler içerisinde olduğu gözlemlenmiştir. Aynı şekilde, servis durumunda raylardaki gerilmeler ve üstyapının yatay ötelenmesi de kontrol edilmiştir. Mesnetlenme koşulları, limitleri sağlayacak şekilde dikkatle seçilmiştir.

Teşekkür: Bu çalışmaya verdiği destekten ötürü yazarlar ODTÜ Mühendislik Bilimleri öğretim üyelerinden Sn. Prof. Dr. Murat Dicleli'ye teşekkürlerini sunarlar.

KAYNAKLAR

Computers&Structures Inc. (2008) SAP 2000.

Eurocode. (2002) Eurocode 1: Actions on structures – Part 2. Traffic loads on bridges-prEN 1991-2, Brussels.

Goicolea J.M., Gabaldon F., Riquelme F. (2006) Design issues for dynamics of highspeed railway bridges. IABMAS 2006 Conference, Porto-Portugal.

Woldringh R.F., New B.M. (1999) Embankment design for high speed trains on soft soils. Geotechnical Engineering for Transportation Infrastructure-Balkema, ISBN: 90 58090477.