

ÖZEL MÜHENDİSLİK YAPILARINDA TEMEL SİSTEMİNİN SEÇİMİNE AİT VAKA ANALİZİ

CASE ANALYSIS OF THE SELECTION OF THE FOUNDATION SYSTEM IN SPECIAL ENGINEERING STRUCTURES

Abdulkadir ÇİNTESUN¹, Akif AYGEN², Volkan TOPALOĞLU³

ÖZET

Viyadükler, ulaştırma projelerindeki önemli mühendislik yapılarından olup, projenin yapım süresi ve maliyetine etkisi oldukça yüksektir. Güzergâh çalışmalarında arazinin topografik durumuna ve proje tasarım kriterlerine göre büyük ve yüksek maliyetli viyadüklerin ortaya çıkması söz konusu olabilmektedir. Depremsellik ve yapının inşaat tekniği temel tasarımının önemini ve kritikliğini artırmaktadır. Ahmetbeyli – Fuzuli – Şuşa Otoyolu yapım işleri kapsamında itme – sürme yöntemi ile inşa edilen 3 adet viyadük, bu çalışmanın kapsamını oluşturmaktadır. Özel yapı statüsünde değerlendirilen bu viyadüklerde temel tasarımı üzerinde alternatif değerlendirmeler yapılmıştır. İtme – sürme viyadük tekniği, yapım sırasında temellerde büyük çekme gerilmeleri oluşturmaktadır. Ayrıca, orta ayak sayısının standart prekast kirişli bir viyadüğe kıyasla az olması ve açıklıkların geniş olması da statik ve depremleri durumlardaki temel gerilmelerini ciddi seviyede artırmaktadır. Bu viyadükler için yapılan araştırma sondajlarına göre, zemin koşullarının fore kazık uygulaması için oldukça zorlayıcı olduğu kanaatine varılmıştır. Bu sebeple viyadüklerin temel sistemlerinde mini kazık tekniği seçilmiş ve başarılı sonuçlar elde edilmiştir. Viyadükler planlanan yapım bütçesinde ve iş programına uygun inşa edilmiştir.

Anahtar Kelimeler: Kazıklı temeller, mini kazık, itme – sürme viyadük metodu

ABSTRACT

Viaducts are one of the important engineering structures in transportation projects and have a high impact on the construction time and cost of the project. Depending on the topographic condition of the land and the project design criteria, large and high-cost viaducts may emerge during the alignment studies. Seismicity and the construction technique of the structure increase the importance and criticality of the foundation design. The scope of this study includes 3 viaducts that were built using the incremental launching method within the scope of the construction works for Ahmedbeyli – Fuzuli – Şuşa Motorway. Alternative evaluations were made on the foundation design of these viaducts, which were evaluated as special structures. The push-slide viaduct technique creates large tensile stresses on the foundations during construction. In addition, the fact that the number of piers is less compared to a viaduct with standard precast beams and the wide spans increase the foundation stresses in static and earthquake situations significantly. According to the soil investigation boreholes for these viaducts, it was concluded that the soil conditions are quite challenging for the bored pile implementation. For this reason, the mini pile technique was chosen in the foundation systems of the viaducts and successful results were obtained. The viaducts were built within the planned construction budget and in accordance with the work schedule.

Keywords: Pile foundation, mini pile, incremental launching viaduct method

¹ İnş. Yük. Müh., Proyapi Mühendislik ve Müşavirlik A.Ş., abdulkadircintesun@proyapi.com (Sorumlu yazar)

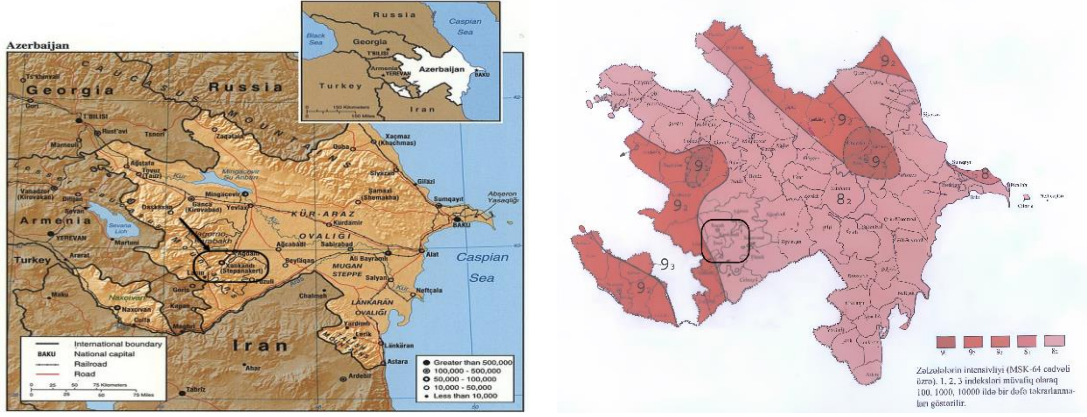
² Azerbaycan Ülke Müdürü, Yön. Kur. Baş. Yrd., Proyapi Mühendislik ve Müşavirlik A.Ş., akifaygen@proyapi.com

³ Azerbaycan Projeler Koordinatörü, Proyapi Mühendislik ve Müşavirlik A.Ş., volkantopaloglu@proyapi.com

1. GİRİŞ

Azerbaycan Karabağ bölgesinde “Ahmedbeyli – Fuzuli – Şuşa” otoyol projesi kapsamında 3 adet viyadük için çalışmalar yapılmıştır. Viyadüklerin standart prekast kirişli inşa edilmesinin yapım maliyetinin yanı sıra yapım süresine de negatif etkisi olacağı değerlendirilmiştir. Bu sebeple, bu viyadüklerin itme – sürme (incremental launching method) tekniği ile inşa edilmesine karar verilmiştir. Viyadüklerin uzunlukları sırasıyla 295 metre, 185 metre ve 405 metre olarak planlanmıştır. Viyadüklerin maksimum ayak yüksekliği 45 metre dolaylarındadır. Viyadükler sağ ve sol hat olmak üzere 6 adet olarak inşa edilmiştir.

Proje sahasının konumu Şekil 1’deki görsellerde yer almaktadır.



Şekil 1. Projenin Coğrafi ve Deprem Haritalarındaki Konumu (Azerbaycan – Şuşa Şehri)

2. ZEMİN ARAŞTIRMA ÇALIŞMALARI ve BÖLGE JEOLJİSİ

Viyadük temellerinde yerel ve uluslararası standartların önerdiği zemin araştırma çalışmaları yapılmıştır. Her ayak altına ve jeolojinin tanımlanması için gerekli olan tüm noktalarda sondajlar açılmıştır. Viyadük bölgesinin jeolojisini genel olarak tanımlamak gerekirse; üst kesimlerde değişken kalınlıkta çok ayrışmış kaya, çakıl blok vb. birimler ve alt kesimlerde orta-yüksek dayanımlı, çok - orta - az ayrışmış andezitler bulunmaktadır. Andezit tabakaları genel olarak arazinin kotunun 2-3 metre aşağısında başlamaktadır. Şekil 2’de verilen karot sandık resimlerinde kayaların durumu görülmektedir. Sandıklardaki en belirgin farklılık kayaların ayrışma dereceleridir.



Şekil 2. Karot Sandık Resimleri

Sondajlardan elde edilen numuneler üzerinde tek eksenli basınç dayanımı ve nokta yük dayanım testleri uygulanmıştır. Tablo 1’de laboratuvar deney sonuçlarının bir kısmı verilmiştir. Görüleceği üzere kayaların dayanımları oldukça yüksektir. Dayanımı >100 MPa olan pek çok örnek tespit edilmiştir. Bu durum kazıklı temel sisteminde kazık çapının belirlenmesi için en büyük etken olmuştur. Yüzeje yakın derinliklerde tek eksenli basınç dayanımları için de 50-60 MPa değerleri yaygın bir şekilde gözlenmiştir. Nokta yükleme deneyi sonuçları da korelasyonlar kullanılarak kontrol edilmiştir. Kayacın genel orta- yüksek dayanımlı olarak adlandırılması uygun görülmüştür. Kayaların tek eksenli basınç dayanımlarının yüksek ve ayrışma derecelerinin düşük olması kayaya soketli kazık hesaplamalarında avantaj sağlamaktadır. Uluslararası pek çok şartname (başlıca FHWA, AASHTO gibi) kazıkların birim çevre sürtünmesi hesaplamalarında bu iki kıstası etken olarak değerlendirmektedir.

Tablo 1. Laboratuvar Deney Sonuçları

Örnek No	Derinlik, (m)	Birim Hacim Ağırlık, $\rho(q/cm^3)$	Uzunluk & Çap (cm)	Alan (cm^2)	Maksimum Yük (KN)	Tek Eksenli Basınç Dayanımı MPa (N/mm ²)
1	5.50 - 6.00	2.56	12.30 / 6.30	31.17	117.00	36.81
2	6.00 - 7.00	2.72	12.30 / 6.30	31.17	227.00	71.41
3	10.00 - 11.00	2.74	12.30 / 6.30	31.17	127.00	39.95
4	11.00 - 12.00	2.74	12.30 / 6.30	31.17	167.50	52.69
5	17.00 - 18.00	2.72	12.30 / 6.30	31.17	339.50	106.80
6	19.00 - 20.00	2.69	12.00 / 6.00	28.27	112.00	38.85

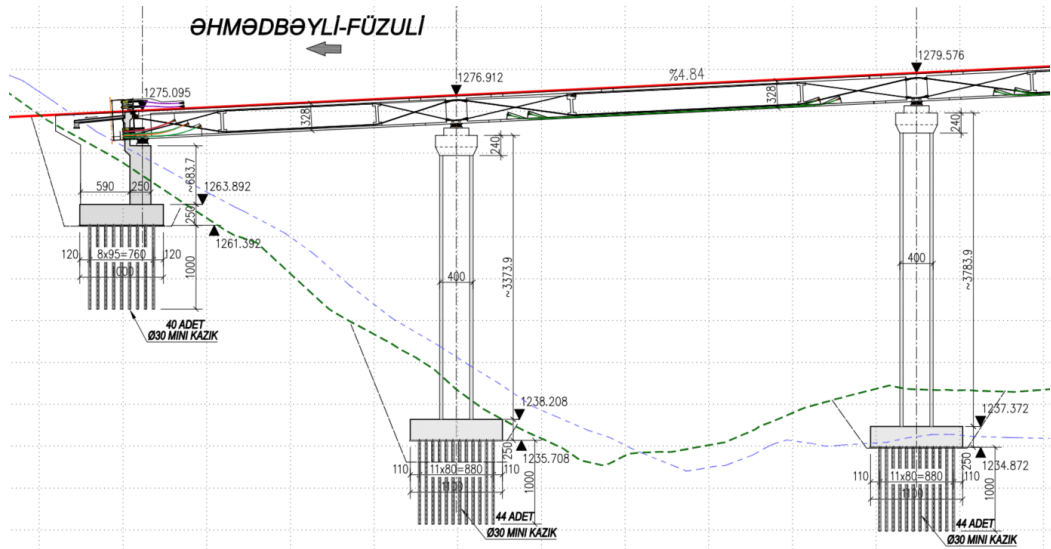
3. VİYADÜKLERİN ÖZELLİKLERİ VE TEMEL SİSTEMİNİN SEÇİMİ

Viyadüklerin tasarım özelliklerine ait özet bilgi Tablo 2’de verilmiştir. Viyadüklerin açıklıkları ve tasarım teknikleri benzer, ayak yükseklikleri değişkendir.

Tablo 2. Viyadüklere Ait Özet Bilgi Tablosu

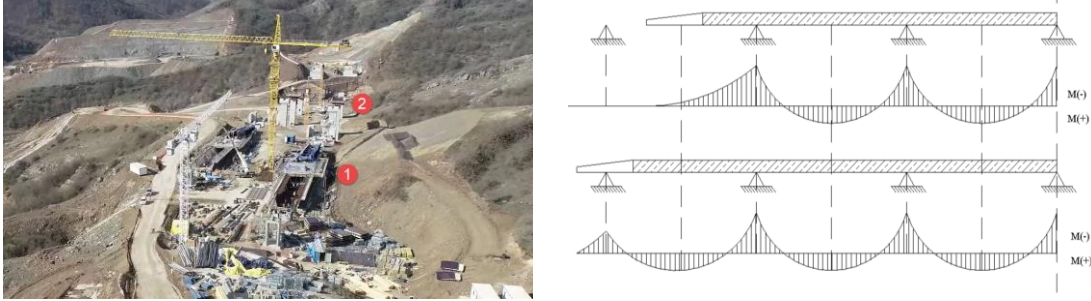
Viyadüklerin Özellikleri	V6 Viyadük		V7 Viyadük		V8 Viyadük	
	Sol Köprü	Sağ Köprü	Sol Köprü	Sağ Köprü	Sol Köprü	Sağ Köprü
Uzunluk	295m	295m	130m	185m	405m	350m
Eğim	4.29%	4.37%	4.71%	4.66%	4.71%	4.84%
Eğrilik Yarıçapı	5.5km	5.5km	233m	266m	-	-
Yan Açıklık	37.5m	37.5m	37.5m	37.5m	37.5m	37.5m
Orta Açıklık	55m	55m	55m	55m	55m	55m

Şekil 3’den görüleceği üzere ayaklar arası açıklık 55 metre olarak tasarımlar yapılmıştır. Ulaştırma projelerinde standart viyadüklerde açıklıklar 30 metre dolaylarındadır. Bu viyadük sistemi daha az orta ayak yapımı gerektirdiğinden yapım süresini azaltmaktadır. Ancak açıklığın artması temellere aktarılan yüklerin de artmasına sebep olmaktadır.



Şekil 3. Kenar ve Orta Ayak Boy Profili (V8 Viyadüğü)

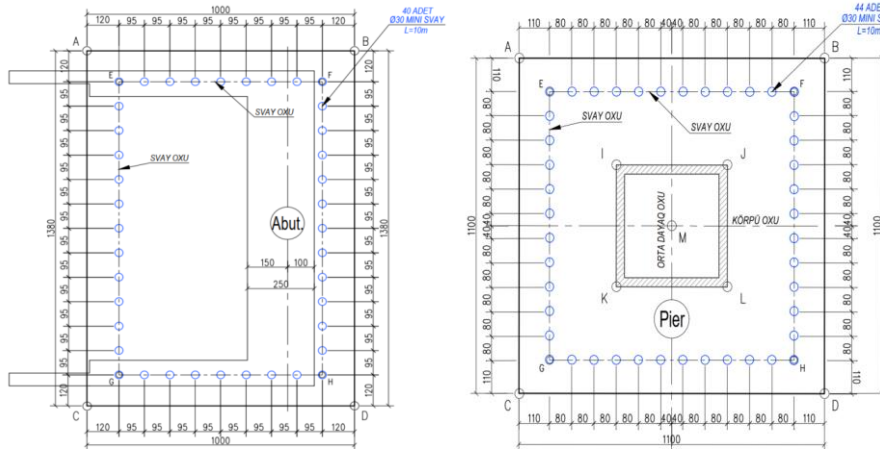
Şekil 4’de görülen segmentler viyadüklerin giriş veya çıkış bölümünde inşa edilmektedir. 1 numaralı alan prekast sahasını, 2 numaralı alan ise tamamlanmış viyadük ayaklarını göstermektedir. Ayakların imalat tamamlandıktan sonra dışarıda hazırlanan segmentler özel sistemler ile ayaklar üzerine sürülmektedir. Şekil 4’de işlem sırasında ortaya çıkan ilave yüklerin şematik görüntüsü yer almaktadır. Bu ilave yük değişimleri gerek ayakların gerekse de temellerin tasarımında dikkate alınmaktadır.



Şekil 4. Segmentlerin Prekast Sahasında İmalatı & Yapım Süresince Moment Değişimleri

Zemin araştırma çalışmaları tamamlandıktan sonra yapının statik hesaplamaları için gerekli veriler oluşturulmuştur. Viyadük temellerinin tamamının yüksek dayanımlı andezit birimlere oturduğu ve taşıma gücü probleminin beklenmediği görülmüştür. Zamana bağlı oturma ve sıvılaşma gibi geoteknik mühendisliği sorunları da beklenilmediği için yüzeysel temel yapılmasının uygun olacağı kanaatine varılmıştır. Ancak giriş kısmında belirtildiği gibi inşaat süresince ortaya çıkan ilave çekme gerilmeleri, ayak yüksekliğinin fazla olması, deprem durumundaki yükler kazıklı temel sistemine mecburi bir yönelim doğurmuştur. Aksi durumda geniş bir alanda oturan yüzeysel temel ile çözüm yapılması gerekmektedir. Yüzeysel tasarlanması durumunda; temel alanının 2.5 – 3.0 katına çıkabileceği ön analizlerde belirlenmiştir.

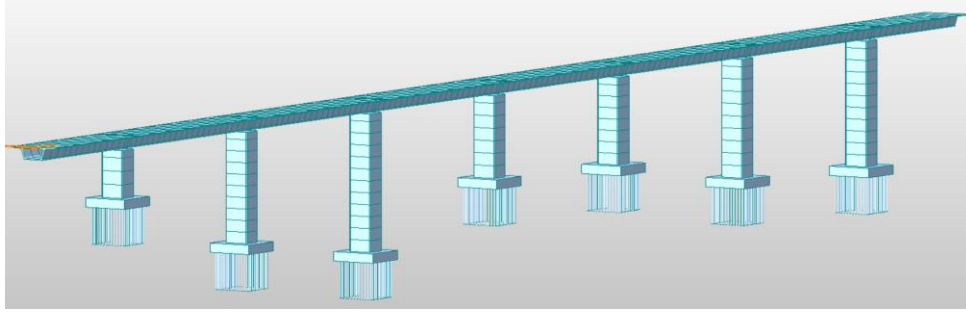
Kazıklı temel sisteminde detayların belirlenmesi için işveren, yapımcı ve proje grupları arasında görüşmeler yapılmıştır. Büyük çaplı standart fore kazık uygulamasının yapım açısından getireceği ek maliyetler, uygulama süresinin uzun olması vb. olumsuzluklar detaylı olarak değerlendirilmiştir. Bütün değerlendirmeler sonucunda mini kazıklı bir temel sisteminin uygulanabilirliğinin en yüksek olduğu kanaatine varılmıştır. İksa sistemlerinde, madencilik işlerinde ve patlatma mühendisliğinde bu teknik sıklıkla tercih edilmektedir.



Şekil 5. Kenar ve Orta Ayakların Kazık Yerleşim Planı

Kazıklar temellerin maksimum çekme aldığı bölgelerine yerleştirilmiştir. Temel altındaki zeminin taşıma gücü problemi olmadığı için düşey kuvvetlerin karşılanması için temelin orta bölgesinde kazığa ihtiyaç duyulmamıştır. Mini kazıkların maksimum yükler altındaki yapısal kapasiteleri ilgili standartlara göre kontrol edilmiştir. Kazık sayısının fore kazıklı bir sisteme kıyasla fazla olması, kazık başına gelen yükü önemli ölçüde azaltmıştır. V8 viyadüğüne ait 3D yapısal model Şekil 6’da verilmiştir. Viyadükler 3D analiz programları ile analiz edilmiştir. Viyadüklerin performans ve betonarme çözümleri AASHTO LRFD şartnamesi kullanılarak yapılmıştır. Sismik data, ülkenin yerel şartnamesi olan AzDTN 2.3-1’den alınmıştır. Kazıkların taşıma

kapasiteleri AASHTO ve FHWA kullanılarak hesaplanmıştır. Kazıkların yapısal kapasiteleri de yine AASHTO LRFD şartnamesi kullanılarak kontrol edilmiştir.



Şekil 6. Viyadük 3D Yapısal Modeli (V8 Viyadüğü)

4. MALİYET VE İMALAT SÜRESİ KIYASLAMASI

Mini kazıklı temel sisteminde birim metredeki beton ve donatı sarfiyatının düşük olması, maliyetlerin azalmasında başlıca etmenlerdir. Orta ayaklarda 44 adet 30 cm çaplı mini kazığa alternatif olarak, 8 adet 120 cm çapında fore kazık gerektiği hesaplamalarda belirlenmiştir. Her iki kazık alternatifi için de 10 metre boy kriteri geçerlidir.

Delgi işçiliği ve malzeme giderleri toplam olarak ele alındığında; mini kazıklı sistemin yaklaşık %20-25 daha ekonomik olduğu hesaplanmıştır. 3x2 viyadük sisteminde 12 kenar ayak ve 28 orta ayak var olduğu dikkate alındığında, bu oran proje bütçesine hatırı sayılır bir ekonomiklik sağlamıştır.

Fore kazıklı sistemde 8 adet kazık için yaklaşık 8-10 gün uygulama süresi olacağı öngörülmüştür. Kayacın dayanımının fazla olması sebebiyle, fore kazık imalatı için yüksek kapasiteli makine gereksinimi de dezavantaj yaratmıştır. Mini kazıklı sistemde ise 44 adet kazığın günlük ortalama 6-7 delgi ile 7-8 günde tamamlanması sağlanmıştır. Pek çok ayakta aynı anda delgi yapılabilmesi ve kolay makine - ekipman temini toplam imalat sürenin azalmasına katkı sağlamıştır.

5. MİNİ KAZIK İMALATINDA KULLANILAN EKİPMANLAR

Viyadük temellerinde 30 cm çapında ve 10 metre boyunda mini kazıkların imalatı hidrolik delgi makineleri ile yapılmıştır. Makinelerin delici uçları kayacı tamamen parçaladıktan sonra foraj artıklarının hava basıncı ile dışarı atarak foraj çukuru oluşturmuştur. DTH (down the hole) hızlı çekiç hareketi ile sert kayayı küçük kesiklere ve toza ayırmaktadır DTH sistemleri, su kuyusu sondajı ve inşaat işleri gibi diğer uygulamalarda da kullanılmaktadır.

Şekil 7’de viyadük temellerindeki kazıkların imalat aşaması görülmektedir. 1 numara ile belirtilen hidrolik delgi makinesi ile parçalanan kayalar, 2 numaralı ile belirtilen kompresörün hava basıncı yardımıyla dışarı atılmıştır. Temel altı kazıkların hızlı bir şekilde imalatlarının yapılması sağlanmıştır.



Şekil 7. Mini Kazıkların İmalatı (Viyadük Temellerinde)

Şekil 8’de viyadüklerin tamamlanmış son durumları görülmektedir. 3 viyadük yoğun bir iş programı ile yaklaşık 8,5 aylık bir sürede tamamlanmıştır. Projenin belirlenen programda bitmesinde tercih edilen temel altı kazık sistemi önemli rol oynamıştır.



Şekil 8. Viyadüklerin Tamamlanmış Görselleri

6. SONUÇLAR

Bu çalışma kapsamında özel mühendislik yapılarının temel seçimindeki kriterlerden bahsedilmiştir. Jeolojik koşulların projelerin uygulama sürelerini uzatması ve yapım bütçesini artırması, yaygın bir problem olarak inşaat sektöründe görülmektedir.

Geoteknik uygulamalarda yapım kolaylığı ve düşük maliyetler için;

- Detaylı jeolojik araştırmalar yapılmalı ve jeolojik formasyon gerçeğe en yakın şekilde belirlenmelidir.
- Standart çözümlerin maliyetleri ve yapım süreleri hesaplanmalı, projeye uygunluğu kontrol edilmelidir.
- Özel mühendislik yapılarında yapım sırasında meydana gelen ilave yükleme koşulları da proje tasarımlarında dikkate alınmalıdır.
- Geoteknik tasarımların uygulanabilirliğinin değerlendirilmesi için uzmanlardan görüş alınmalıdır. Pek çok geoteknik çözüm önerisi uygulama zorluğu nedeniyle yapım sırasında revize edilmekte veya yüksek yapım maliyetleri doğurmaktadır.

Bu çalışma kapsamında aktarılan tasarım örneğinin, gelecekte benzer problemlerle karşılaşılabilecek pek çok yapı için çözüm önerisi olabileceği düşünülmektedir.

TEŞEKKÜR

Bizlere bu projede çalışma şansı veren Azerbaycan Avtomobil Yolları Devlet Agentliyi’nin İdare Heyetinin Sedri Sn. Saleh Memmedov’a ve değerli bürokratlarına, çalışmaya katkılarından ve desteklerinden dolayı Proyayı Mühendislik ve Müşavirlik A.Ş.’nin Yönetim Kurulu Başkanı Sn. Murat Kuru’ya, değerli yönetim kurulu üyelerine, proje danışmanımız Sn. Dr. Mahmut Şengör’e, Proje Müdürü Sn. Hikmet Taştan’a, viyadüğün tasarım ekibinden Sn. Sinan Aygen ve Sn. Mustafa Gedik’e, jeolojik araştırma çalışmalarını yapan Sn. İhsan Cankurtaran’a, emeği geçen tüm çalışma arkadaşlarımıza ve proje paydaşlarımıza teşekkürlerimizi sunarız.