**TÜNELLERDE DELME PATLATMAYA BAĞLI DİNAMİK YÜKLERİN SONLU ELEMANLAR METODU İLE MODELLENMESİ**

Ümit GÜNEY

*South Mühendislik Yazılım Danışmanlık İnş. San. ve Tic. Ltd. Şti* (uguney@SouthGeoRock.com)

**ÖZET**

Tünel ve diğer yeraltı yapılarında kazı yöntemi olarak sıklıkla delme patlatma uygulamaları yapılmaktadır. Delme patlatma ile yapılan kazılarda patlatma sırasında dinamik yükler meydana gelmektedir. Patlatma kaynaklı dinamik yüklerin yeraltı açıklıklarının duraylılığını sağlayan destek sistemlerine olumsuz etkileri söz konusudur. Son yıllarda nümerik analizlerdeki gelişmeler ile dinamik yük etkileri zamana bağlı olarak modellenebilmektedir. Bu çalışma kapsamında Rocscience RS2 (2019) sonlu elemanlar tabanlı bilgisayar yazılımı kullanılarak patlatmadan kaynaklı dinamik yüklerin tünel destek sistemi üzerine etkileri nümerik modeller oluşturularak araştırılmıştır. Patlatmadan kaynaklı basınç ve titreşim etkilerinin dinamik olarak yük tanımının yapılması ve bu yüklerin tekrar durumundaki etkilerinin öngörülmesi gerekmektedir. Ve bu öngörü analizlerde önem arz etmektedir. Tünel içerisinde yapılan patlatmanın zamana bağlı etki grafiği ile 2 boyutlu sonlu elemanlar modeli oluşturulmuş ve zamana bağlı analiz yapılmıştır. Analizlerde farklı mekanik özelliğe sahip kayaç ortamları tanımlanmıştır. Kaya ortamlarında yenilme ölçütü olarak Generalized Hoek Brown kullanılmıştır. Aynı zamanda tünel içerisindeki delme patlatma, kayada örselenmeye neden olmaktadır. Örselenme bölgesi patlatmadan kaynaklı yüklere ve kayaç özelliklerine bağlı olarak değişiklik göstermektedir. Nümerik analizlerde tünel etrafındaki örselenme bölgesinin belirlenmesi amacıyla çeşitli kabuller yapılmaktadır. Tünelde delme patlatmadan dolayı oluşan yüklerinden kaynaklı dinamik etkiler sonlu elemanlar metodu kullanılarak incelenmiş ve tünel etrafında oluşan plastik bölge derinlikleri ölçülmüştür. Bunun yanı sıra tünel kazısına bağlı oluşan gerilmelerden dolayı da plastik bölge meydana gelebilmektedir. Sonlu elemanlar analizleri ile patlatmaya bağlı oluşan plastik bölgeler farklı kaya ortamları için değerlendirilmiştir.

Kayaç özelliklerinin değişkenlik gösterdiği altı farklı tanımlama yapılmıştır. Tanımlamalarda tünel derinliği bütün modellerde standart olarak kabul edilmiştir. Bu sayede derinliğe bağlı ortamın gerilme farklılıklarının önüne geçilmeye çalışılmıştır. Analizlerin yapıldığı Rocscience RS2 (2019) yazılımında homojen ve izotropik ortam koşulları kabul edilmiştir. Ortam gerilmesi, 50,00 metre derinliğe bağlı olarak k = 1 kabulü ile s1 ve s2 cinsinden gerilme olarak uygulanmıştır. Tünel kesitine bağlı olarak gerilme değişimlerinin önüne geçmek amacıyla tünel kesiti dairesel ve tünel çapı 10,00 metre olarak alınmıştır. Analizlerde tünelin bulunduğu kaya ortamının kaya parametreleri Tablo 1’de verilmiştir.

Tablo 1. Kaya Parametreleri

|  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| **Analiz** | **Yenilme Kriteri** | **s ci (Mpa)** | **GSI** | **mi** | **E (Mpa)** | **v** |
| 1 | Generalized Hoek Brown | 30 | 30 | 10 | 1200 | 0,20 |
| 2 | Generalized Hoek Brown | 30 | 40 | 10 | 2400 | 0,20 |
| 3 | Generalized Hoek Brown | 30 | 50 | 10 | 4600 | 0,20 |
| 4 | Generalized Hoek Brown | 40 | 30 | 15 | 1600 | 0,20 |
| 5 | Generalized Hoek Brown | 40 | 40 | 15 | 3200 | 0,20 |
| 6 | Generalized Hoek Brown | 40 | 50 | 15 | 6100 | 0,20 |

Tünel kazı işlemindeki delme patlatma uygulamaları ile birlikte tünel destek sistemleri de ilerlemektedir. Bu nedenle destek sistemi patlatma bölgesine yakın seyretmektedir. Diğer yandan en önemli etkilerinden biri olan örselenme derinliğinin tünelde kullanılan patlayıcı ve patlatma yöntemine bağlı olarak değişkenlik gösterebileceği söylenebilir. Bu çalışma kapsamında delme patlatma yönteminin tünel birincil destek sistemine olan olumsuz etkileri ve getireceği ek yükler elde edilmiştir. Örselenme derinliğine etkilerinin sonlu elemanlar tabanlı bilgisayar yazılımı ile öngörülmesine yönelik çalışmalar yapılmıştır. Tünel inşasından önce gerek kaya bulonu gerekse de püskürtme beton boyutlandırmalarında etkilerin araştırılması ekonomik ve güvenlik açısından tünel çözümlerine katkı sağlayacaktır. Şöyle ki kaya ortamının basınç dayanımı (sci), GSI değeri vb. parametrelerine göre kazı işlemlerinde kullanılacak toplam patlayıcı miktarı, delik başına patlayıcı miktarı, delik geometrileri vb. değerler değişiklik göstermektedir. Bununla birlikte yine kayaç özelliklerine göre (sci, GSI) örselenme derinliği, destek sistemi basınçları da değişkenlik göstermektedir. Sonuçları oluşturacak destek sistemi boyutlandırılması belirtilen bu değişkenlere bağlıdır. Değişkenlerdeki bilinmeyen sayısının artması sonuçları gerçekte olan değerlerden uzaklaştıracaktır. Bu amaçla sistem içerisindeki bilinmeyenlerin gerçeğe yakın bir şekilde belirlenmesi, sonuçları da gerçeğe o oranda yaklaştıracaktır. Sonlu elemanlar analizlerinin içerisine delme patlatma yönteminden kaynaklı dinamik etkilerinin de modellenebilirliğinin araştırılması analizler için farklı bir yaklaşım oluşturmaktadır.

Anahtar Kelimeler: Tünel Delme Patlatma, Sonlu Elemanlar Metodu, Kayaç Örselenme, Dinamik Yük Analizleri.