

Bazı Yapı Malzemelerinin Radyasyon Tutuculuk Özellikleri

C. BAŞYİĞİT, A. KAÇAR

Süleyman Demirel Üniversitesi, Teknik Eğitim Fakültesi, Yapı Bölümü 32260 ISPARTA

Özet: Yapı malzemeleri, iç yapı oluşumlarına göre kalsiyum, silisyum ve metalik esaslı inorganik malzemeler ile, karbon, hidrojen ve azot esaslı organik malzemeler olmak üzere iki sınıfta toplanabilir. Bu çalışmada; radyasyon zırhlanmasında yapı malzemelerinin özellikleri malzemeler ile olan etkileşiminin ifadesi olan radyasyon tutuculuk katsayısı (μ); cam, normal beton, baritli beton, düşük karbon çeliği, ahşap gibi yapı malzemeleri için 10keV ile 100 GeV geniş enerji aralığında hesaplandı. Hesaplanan μ değeri, yüksek ve düşük enerji bölgelerinde önemli değişimler gösterirken, orta enerji bölgelerinde ise aynı değişimi göstermedi.

Anahtar Kelimeler: Yapı malzemeleri, Radyasyon, Radyasyon tutuculuğu

Radiation Shielding Properties of Some Construction Materials

Abstract: Construction materials can be classified in two groups according to their internal structure formation like calcium, silicon and metallic contents inorganic materials and carbon, hydrogen, nitrogen, contents organic materials. In this study properties of some construction have been studied in radiation shielding and values that was obtained from theoretical calculations have been performed in order to obtain linear attenuation coefficient and mass attenuation coefficient, they are expressed in radiation interaction with matter, at photon energies from 10 keV to 100 GeV for glass, ordinary concrete, barytes concrete, steel, plastic. While linear attenuation coefficient values show variation at low and high energy regions it was no any variation in middle region.

Key Words: Construction materials, Radiation, Attenuation

Giriş

Yeryüzündeki tüm canlılar ve cansızlar havada, suda, toprakta, hatta kendi vücutları içerisindeki doğal radyasyon kaynakları ve bunlara ek olarak insanlar tarafından üretilen yapay radyasyon kaynaklarının her gün ışınımına maruz kalmaktadırlar. Radyasyonun zararlı etkilerinden korunabilmek için zaman, mesafe ve zırh olmak üzere üç temel hususa dikkat edilmelidir. Radyoaktif kaynağı yaptığı ışınımına maruz kalınan süre ne kadar uzunsa ya da ışınım yapan kaynağın ne kadar yakınında bulunuluyorsa alınacak radyasyon dozu da o kadar artacaktır. Bazı radyonüklidlerin yaydığı radyasyon o kadar kuvvetlidir ki kilometrelerce uzaktan bile göremediğiniz halde ışınımına maruz kalınabilir. Böyle kuvvetli radyoaktif maddelerin etkilerinden sadece zırhlayarak korunulabilir. Tasarımın bünyesine giren ve tümde o tasarımın oluşum ve kullanma süreci içerisindeki biçimlenişini sağlayan ve tasarımı kullanan insanın sağlık ve konforunu düzenleyen parçalara yapı malzemesi denir. 19. Yüzyıldan sonra ekonomik ve sosyal değişimlerin sonucu malzeme teknolojisi fazlasıyla önem kazanmış ve tüm tasarımlarda, tek bir malzeme yerine malzeme bileşimleri şeklinde çözümler kendini göstermiştir [1]. Genel olarak yapı malzemesi belirli bir yapıda kullanılacak ise bir veya birkaç karakteristiğinin, bazı araştırmalara ve gözlemlere dayanılarak saptanan değerler arasında olması gerekir. Yapı malzemelerinin özellikleri içyapıya büyük ölçüde bağlıdır [2]. Uygulanan bir işlem sonucu özelliklerde meydana gelen değişimlerin nedeni, ancak içyapı göz önüne alınarak açıklanabilir. Yapı malzemelerinin atom ve molekül yapısını mikro yapıya özellikleri, gözle görünür yapısını ise makro yapıya özelliklerini oluşturur. İçyapılar, atomlar arası bağ

kuvvetleri etkisinde üç boyutlu uzayda dizilmeleri sonucu oluşur. Atomlar arası bağların oluşmasında ana etken elektron yapılarıdır. En dış yörüngede bulunan valans elektronları cisimlerin mekanik, fiziksel ve kimyasal özelliklerini belirlerler [3].

Hem doğal hem de yapay yollarla oluşan radyasyonlar değişik türde olabildiği gibi etkileri de değişiktir. Radyasyon zırhlanmasında tasarımın bünyesini oluşturacak yapı malzemelerinin seçimi, zırhlanacak radyoaktif materyalin yayımladığı radyasyonun türüne göre farklılık gösterir [4]. Radyasyon atomsal düzeyde yerel etki yapar, genellikle atomları iyonlaştırır veya onları yerlerinden oynatarak arayer atomu ve bunun sonucu boş kafes köşesi meydana getirir.

Yapı Malzemeleri ve Sınıflandırılması

Yapı malzemesinin kendi özellikleri oranında insanın yaşamı için gerekli, fiziksel ortamı ve yapının sonraki çağlara devrini sağlayarak yapıyı oluşturan çeşitli elemanlıdır. Bilindiği gibi maddeyi meydana getiren atom ve moleküller sıcaklığa bağlı olarak, gaz sıvı ve katı olmak üzere üç farklı yerleşme düzeninde bulunurlar. Gaz ve sıvılar ayrık düzende bulunan moleküllerden, katılar ise kristalli, moleküllü ve karma yapılu moleküllerden meydana gelmişlerdir. Kristalli yapıya sahip yapı malzemelerine örnek metaller, moleküllü yapıya sahip malzemeler içine organik esaslı ahşap, bitüm, katran ve plastikler yer alır. Karma yapılu yapı malzemeleri ise doğal taşlar, beton, pişmiş toprak ürünleri ve camlardır [5].

Yapı malzemelerinin mukavemeti, elektriksel ve ısı özellikleri içyapıya bağlıdır. Bağlar kuvvetli olursa, ergime sıcaklığı, elastisite modülü ve mukavemet yüksek, ısı genleşme düşük olur. Atomlar arası bağ kuvvetleri, uygulanan kuvvetlere karşı direnç gösterir, şekil değiştirmeyi ve kırılmayı önlemeye çalışırlar. Bir cisim bağ kuvvetleri altında en düşük enerji denge konumundan bulunan atomlar grubundan oluşur. Ancak koşullar değişirse enerji içeriği değişir, denge bozulur. Atomlar daha düşük enerji gerektiren başka bir denge konumuna geçerek değişik biçimde dizilir ve sonuçta yeni bir faz oluşur. Cisimlerde içyapı oluşumunda en önemli ana etken enerjidir. Fiziksel doğanın temel özelliklerinden birisi enerjisi azalan bir cisimde kararlılığın artmasıdır. Sistemler daima sahip oldukları enerjiyi azaltan konumlara doğru yönelerek daha kararlı hale gelme özelliği gösterirler. Bir atomun elektronlar arasında en aktif olanlar, en dış kabukta yer alanlar veya çekirdekte en uzak mesafede bulunanlardır. Elektrovalans elektronlar iyonik ve diğer bağlantıların kurulmasında başlı başına rol oynamak sureti ile cisimlerin tüm (kimyasal-fiziksel-mekanik) özellikleri üzerine etkileri bulunmaktadır[6].

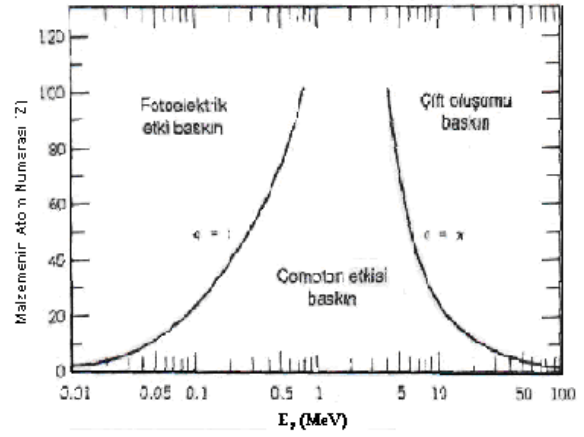
Radyasyon Tutuculuk Özelliklerinin Tespiti

Radyasyon, iç dönüşüm geçiren atomlar tarafından yayımlanan, boşlukta ve madde içerisinde hareket edebilen enerji olarak tanımlanır. Yayımlayan kaynağın özelliğine bağlı olarak bu enerji parçacıklar veya elektromanyetik dalgalar tarafından taşınabilir. Radyasyonu tanımlamada üç ana parametre kullanılır.

- * Enerjisi (düşük ve yüksek enerjili radyasyon)
- * Türü(parçacık radyasyonu ve elektromanyetik radyasyon)
- * Kaynağı (doğal ve yapay radyasyon kaynakları)

Yüksek enerjili radyasyon iyonize radyasyon olarak da tanımlanır ve atomdan elektron koparabilen dolayısıyla atomu iyonize edebilen radyasyon türüdür. Doğrudan iyonlayıcı ve dolaylı iyonlayıcı radyasyonlar olarak ikiye ayrılır. Doğrudan iyonlayıcı radyasyonlar, alfa, beta ve ağır iyonlar gibi elektrik yüklü tanecikler, dolaylı iyonlayıcı radyasyonlar ise X ve gama ışını yani elektromagnetik radyasyonlarla nötronlardan oluşur. Dolaylı iyonlayıcı radyasyonlar, madde ile etkileşirken iyonlayıcı özellikleri olan ikincil radyasyonlar meydana getirirler. Böylece iyonlaşma meydana gelir.

Son yıllardaki teknoloji alanındaki hızlı gelişime paralel olarak sanayi, tıp, nükleer reaktörler gibi nükleer teknolojilerin kullanıldığı alanlardaki uygulamalar göz önüne alındığında ortaya çıkması olası olan bu fotonların zırhlanmasının (shielding) çok önemli olduğu görülmektedir.



Şekil 1. Fotonun madde ile etkileşiminin foton enerjisine ve Z sayısına bağlı olarak değişim[4]

Foton radyasyonunun etkisinin azaltılması için kullanılacak materyalin seçimini yapmak için bu malzemenin birçok özelliğinin incelenmesi gerekir. Bunun için bir fotonun madde tarafından absorbe edilmesinin bir ölçüsü olarak maddelerin doğrusal zayıflatma katsayılarına (μ) bakılır. Doğrusal zayıflatma katsayısı μ bir fotonun birim uzunluk başına herhangi bir etkileşim geçirme olasılığını verir, fotoelektrik zayıflatma (τ), Compton saçılması (σ) ve çift oluşumu (κ) olasılıklarının toplamıdır.

$$\mu = \tau + \sigma + \kappa \quad (1)$$

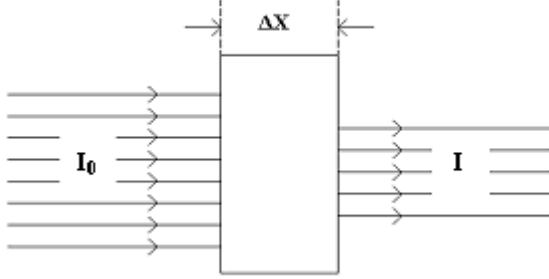
Buradaki tüm büyüklükler (uzunluk)⁻¹ boyutundadır [7]. Radyoaktif bir kaynaktan çıkan γ -ışınlarının x kalınlığındaki bir maddeden geçerken soğurulma olasılıkları γ -ışınının madde ile olan etkileşim olasılıkları toplamına eşittir. Fotonlar, içinden geçtikleri ortamın (maddenin) atomları ile rasgele yaptıkları karşılıklı etkileşimler sonucunda ortama enerji bırakarak absorblanabileceği gibi saçılıma da uğrayabilirler. Elektromanyetik radyasyonun madde ile etkileşiminde rol oynayan en önemli üç olay;

- Fotoelektrik Olay
- Compton Saçılımı
- Çift oluşumu

Olaylarıdır.

Fotoelektrik olay da Foton madde etkileşip enerjisini tamamen kaybederek maddeden bir elektron sökülmesine sebep olur. Sökülen elektrona da fotoelektron denir. Foton madde tarafından saçılmaya uğratılıp saçılan foton yanında elektron sökülebilir ki bu olaya da Compton saçılması denir. Ayrıca bir foton enerjisini tamamen kaybederek elektron-pozitron çifti oluşmasına sebep olur ki buda çift oluşum olarak bilinir. Şekil 1'de görüldüğü gibi fotoelektrik olay düşük enerjili ($E_\gamma < 0.5$ MeV) fotonlar için önemli durumda iken orta enerji bölgesinde (0.5 MeV $< E_\gamma < 5$ MeV) Compton saçılması etkin hale gelmektedir. Foton enerjisi arttıkça ($E_\gamma > 5$ MeV) çift oluşum daha etkili bir duruma gelmektedir. Bunun yanında fotoelektrik zayıflatma olasılığı soğurucu atomun

Z sayısı ile hızla artarken foton enerjisi ile hızla azalmaktadır. Düşük Z sayılı atomlarda compton saçılması daha etkili görülmektedir [8]. Maddelerin radyasyona karşı zırhlanmalarının bir ölçüsü olan zayıflatma katsayısı (μ) gerek teorik gerekse deneysel olarak birçok malzeme için araştırılmalıdır.



Şekil 2. X ve gama ışınlarının soğurulmaları

I_0 şiddetinde paralel bir gama radyasyon demeti, Δx kalınlığındaki bir soğurucuda ΔI kadar azalır

$$\Delta I = -\mu I_0 \Delta x \quad (2)$$

Yazılabilir. Burada μ soğurucunun doğrusal zayıflatma katsayısı olup, her soğurucuya ait bir sabittir. Bu eşitliğin integrali alınır,

$$I = I_0 e^{-\mu x} \quad (3)$$

Elde edilir. Burada I soğurucudan çıkan, I_0 da soğurucuya giren radyasyonun şiddeti yoğunluğunu, x soğurucunun kalınlığını, μ doğrusal zayıflatma katsayısını gösterir.

Doğrusal zayıflatma katsayısının soğurucunun özgül ağırlığına bölümü ile kütle zayıflatma katsayısı (μ_m) elde edilir.

$$\mu_m = \mu / \rho \quad (4)$$

Çizelge1. Co^{60} Kaynağı için Bazı Yapı Malzemelerinin Kütle ve Doğrusal Zayıflatma Katsayıları

Yapı Malzemesi	μ/ρ (cm^2/gr)	μ ($1/cm$)
Normal Beton [9]	0.0388	0.0933
Barit agregalı ağır beton[9]	0.0382	0.1305
Kurşun [7]	0.0056	0.616

Gelen radyasyon şiddeti yoğunluğunu onda birine indiren kalınlığa onuncu tabaka kalınlık (OTK) denir [10].

$$\text{Onuncu Tabaka Kalınlığı (OTK)} = \frac{\log_e 10}{\mu} \quad (5)$$

Burada, $\log_e 10$ sabit değer olup, μ maddenin doğrusal zayıflatma katsayısını ifade etmektedir.

Foton demeti paralel ve geniş bir yapıya sahip ise, ölçülen radyasyon şiddeti saçılan fotonları da içerir. Bu nedenle zırh malzemesini geçen radyasyon şiddeti dar demet geometrisine göre daha büyük olur;

$$I = B.I_0 e^{-\mu x} \quad (6)$$

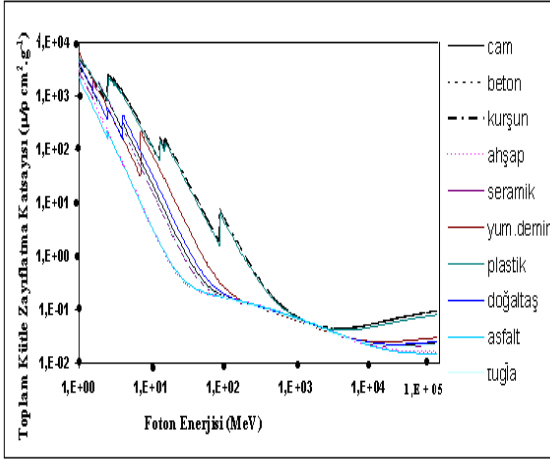
Şeklinde ifade edilir. B düzeltme faktörü olup ($1 \leq B$) olarak tanımlanır. Verilen bir zırh malzemesinde, kalınlık, foton enerjisi ve kaynak geometrisine bağlı düzeltme faktörü hesaplanır ve kullanılır. Bu faktör deneysel olarak elde edilen foton zayıflatma ölçümleri ile bulunabilir.[11]

Düzeltilme faktörü ile ilgili yapılan çalışmalardan [7], bu faktörün

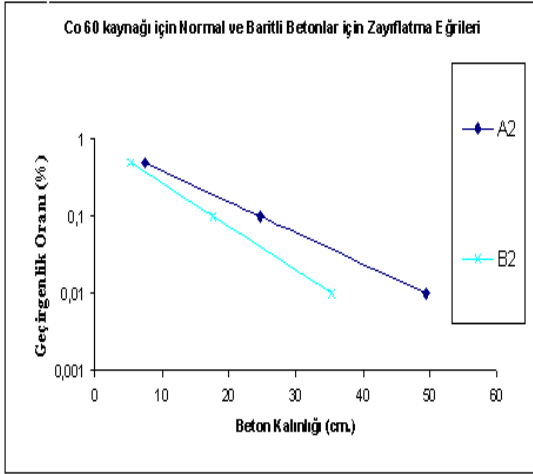
- Zayıflatılan ortamın doğasına
- Kaynak fotonların enerjisine
- Kaynak ile ilgilendiğimiz nokta arasındaki uzaklığın, ortalama serbest uzaklığa oranına
- Kaynağın geometrisine bağlıdır.

Deneysel değerler, Berger ve Hubble [12] tarafından geliştirilen XCOM adlı bilgisayar programı ile hesaplanmıştır. Bu program; enerjisi 1 keV'dan 100 GeV'ye kadar olan herhangi bir element veya malzemenin zayıflatma katsayılarını hesaplar.

Bu çalışmada yapı malzemesi olarak kullanılan ve yapılarda malzemesini teşkil eden hemen hemen tüm malzemelerin radyasyon geçirgenlikleri araştırılmıştır. Bulunan sonuçların değerlendirilmesi ile radyasyon zırhlanmasında etkili olacak malzemelerin seçimi yapılmıştır. Bunlar sırası ile cam, beton, ahşap, seramik, inşaat demiri, plastik, doğal taş, tuğla, asfalt, cam gibi malzemelerdir. Bu malzemelerin birçok çeşidi olmakla beraber inşaatlarda en çok kullanılan sınıf ve cinsler için hesaplama yapılmıştır. Çizelge1'de bu malzemelerin bazıları için kütle ve doğrusal zayıflatma katsayıları verilmiştir. Şekil 3' de hesapla elde edilen kütle ve doğrusal zayıflatma katsayıları verilmiştir. Şekil4'de ise normal beton Barit agregalı ağır betona ait Co^{60} kaynağı için elde edilen beton kalınlığına bağlı zayıflatma eğrileri verilmiştir.



Şekil 3. Yapı Malzemelerinin Radyasyon Zayıflatma Katsayısının Foton Enerjisi ile Değişimi [12].



Şekil 4. Co⁶⁰ Kaynağı için Elde Edilen Beton Kalınlığına Bağlı Geçirgenlik Oranları [13]

Sonuçlar

Foton enerjisine bağlı olarak değişen radyasyon geçirgenlik eğrileri görülmektedir. Şekil 2. yi foton enerjisine bağlı olarak üç bölgede incelemek daha yararlı olacaktır. Birinci bölge 1 ile 1E+01 Mev bölgesi, ikinci bölge 1E+01 ile 1E+03 Mev bölgesi ve son olarak 1E+03 ile 1E+05 Mev bölgesi. Birinci bölgenin başlangıcında incelenen malzemelerin hemen hepsinin radyasyon zayıflatma değerleri benzer iken birinci bölgenin sonu ve ikinci bölgenin başında farklılaşmalar görülmektedir. Sıçrama yapan değerler, o malzemenin kimyasal yapısında bulunan elementlerin ortalama atom ağırlıkları ile tepkimeye girdiği foton enerjisini göstermektedir. İkinci bölgenin sonunda yine tüm incelenen malzemelerin radyasyon zayıflatma değerleri bu sefer başlangıçtan daha belirgin olarak aynı değeri aldığı görülmektedir. Üçüncü bölgede ise yine malzemeler birinci bölgedeki davranışı ile aynı davranışı göstererek birinci bölgede yüksek olan değerler, yükselirken, düşük olan değerler, aynı sıra ile azalmaya devam etmektedirler. Yalnız bu bölgedeki azalma, birinci bölgedeki kadar keskin değil, daha yumuşaktır. Şekil 3' den radyasyon tutuculuk özelliği en yüksek malzemelerin kurşun ve plastik olduğu

görülmektedir. Yalnız verilen değerler toplam kütesel zayıflatma değerleri olduğu için gerçek hesaplamalarda kullanılan doğrusal zayıflatma değerlerini bulmak için malzemelerin yoğunluğu ile çarpılmalıdır. Bu yüzden plastik malzemelerin yoğunluğu kurşun yaklaşık onda biri olduğu için kullanılacak zırh malzemesinin kalınlığı da on kat artacaktır. Kurşun ve plastikten sonra radyasyon geçirgenlik değeri yüksek malzemenin yumuşak inşaat demiri olduğu görülmektedir. Yapı malzemesi olarak aynı sınıfa giren, tuğla, doğal taş, seramik, cam ve betonun radyasyon geçirgenlik değerleri birbirine çok yakındır. Şekil 3. de yine en düşük radyasyon geçirgenlik değerlerinin ahşap ve asfalt gibi malzemeler olduğu görülmektedir. Bu iki malzemenin foton enerjisine bağlı radyasyon geçirgenlik değişimleri birbirine çok yakındır. Zırh malzemesi olarak kurşun ve plastik en iyi sonucu verirken, yoğunluğun dikkate alınarak yapılan hesaplamalarda kurşun, beton ve doğal kalker kökenli taşın iyi bir zırh malzemesi olduğu söylenebilir. Ayrıca Şekil 4' de Co⁶⁰ Radyasyon kaynağından çıkan fotonlar için yapılan deney sonuçlarına göre geçirgenlik yüzdeleri verilmiştir. Karşılaştırma yapabilmek için; A ve B serisi betonlarına ait geçirgenlik yüzdeleri verilmiştir. Şekilden görüldüğü gibi B serisindeki betonların eğimleri, A serisi betonların geçirgenlik eğimlerinden azdır. B betonu geçirgenlik yüzdesine göre kalınlığı en az olan betondur.

Kaynaklar

- (1) Eriç, M., 1994. Yapı Fiziği ve Malzemesi, Literatür Kitabevi, 367 sayfa, İstanbul.
- (2) Smith F.W., 2001. Malzeme Bilimi ve Mühendisliği, Çev. Kınıkoğlu, N. Literatür Yayıncılık
- (3) Onaran, K., 1993. Malzeme Bilimi, 4. Baskı, Bilim Teknik Yayınevi, İstanbul.
- (4) Kaplan M.F., 1989. Concrete Radiation Shielding, John Wiley & Sons, Newyork.
- (5) Wulff, M., 1976. Malzemelerin Yapı ve Özellikleri, Çev.B.Erman, İTÜ Yayını, İstanbul.
- (6) Bekaroğlu, Ö., 1986. Genel Kimya, Kipaş Dağıtım, İstanbul.
- (7) Bashter I.I Ann. Nucl. Energy 24,1389(1997)
- (8) Akkurt, I., Mavi, B., Akkurt, A., Başyigit, C., Kılınçarslan, Ş., Yalın, H.A., 2005. Study on Z dependence of partial and total mass attenuation coefficients, Journal of Quantative Spectroscopy and Radiative Transfer,
- (9) Kılınçarslan, Ş., 2005. "Barit Agregalı Ağır Betonların Radyasyon Zırhlamasındaki Özellikleri ve Optimal Karışımlarının Araştırılması" S.D.Ü. Fen Bilimleri Enstitüsü, Doktora Tezi, Isparta,
- (10) Şarer, B., 2001 Nükleer Fizik Palme Yayıncılık , Ankara,
- (11) Berger, M.J., Hubbell, J.H.. NBSIR87-3597: Photon Cross Sections on A Personal Computer, National Institute of Standards and Technology, Gaithersburg, MD, 1987.
- (12) Abdo A.S., 2002. Calculation of the cross-sections for fast neutrons and gamma-rays in concrete shields, Annals of Nuclear Energy 29, 1977-1988.
- (13) Basyigit, C., Kaçar, A., Kılınçarslan, Ş., Akkurt, I., Mavi, B., IX. Ulusal Nükleer Bilimler ve Teknolojileri Kongresi, 14-16 Eylül 2005, Ege Üniversitesi, İzmir