

BİNEK ARAÇLARINDA SÜRÜŞ KOŞULLARININ KİRLETİCİ EGZOZ EMİSYONLARINA ETKİSİ

Cem SORUŞBAY^(*), Metin ERGENEMAN, H.A. Taha ÖZTÜRK
ve Ender SEL

İstanbul Teknik Üniversitesi, Makina Fakültesi, Otomotiv Laboratuvarı, İstanbul 34439

ÖZET

Karayolu taşıtlarından kaynaklanan sera gazları ve diğer kirletici emisyonlar ulaştırma sektörü içerisinde önemli bir paya sahiptir. Karayolu taşıtlarının boşa çalışma, ivmelenme, sabit hızda seyir vb sürüş koşullarındaki değişimler bu taşıtlardan kaynaklanan kirletici egzoz gazı emisyonlarını ve yakıt tüketimi değerlerini önemli ölçüde etkilemektedir.

Bu çalışma kapsamında benzin motorlu, farklı emisyon kontrol teknolojisine sahip olan 30 adet otomobil, İstanbul Şehir Çevrimi (IDC) ve ayrıca Avrupa Birliği (NEDC) ve ABD (FTP 75) çevrimlerine göre laboratuvar ortamında test edilerek CO, yanmamış HC'lar, NO_x ve CO₂ için emisyon faktörleri ve yakıt tüketim değerleri belirlenmiştir. Şasi dinamometresi üzerinde gerçekleştirilen emisyon ölçümlerinde Türkiye'de mevcut otomobil parkını temsil edecek nitelikte örnekleme yapılmıştır. Ülkemizde büyük şehirlerde karayolu trafiğinden kaynaklanan emisyonların hesaplanması amacıyla, ülke koşullarına yönelik olarak IDC çevrimine göre emisyon faktörleri elde edilmiştir.

Bu çalışma kapsamında, farklı çevrimlerin temsil ettiği sürüş koşullarının emisyonlara ve yakıt tüketimine etkisi irdelenmiştir.

Anahtar Sözcükler: Egzoz emisyonları, İstanbul Şehir Çevrimi (IDC), Benzin motorları.

GİRİŞ

Günümüzde taşıt teknolojisindeki hızlı gelişmelere paralel olarak araçların birim mesafe başına tüketmekte oldukları yakıt miktarında ve atmosfere attıkları kirletici emisyonlarda önemli azalma sağlanmıştır. Ancak araç sayısı ve araç kullanım miktarının giderek artmakta olması, ulaştırma sektöründen ve özellikle karayolu ulaşımından kaynaklanan yerel emisyonların ve sera gazlarının artmasına neden olmaktadır.

Dünya genelinde ulaştırma sektörü 2.227 milyon tpe enerji tüketimi ile %27,5 paya sahip olup sektörün enerji tüketimi yıllık bazda yaklaşık %1,5 oranında artmaktadır (IEA, 2008). Petrol tüketimi içerisinde ulaştırma sektörünün payı ise dünya ortalamasında %50 mertebesinin üzerindedir. Ülkemizde ise ulaştırma sektöründeki enerji tüketimi 1990 – 2007 döneminde iki katına ulaşmıştır. Karayolu ulaşımı bu tüketim içerisinde %84,4 paya sahiptir.

Ülkemizde ulaştırma sektörü tarafından üretilen CO₂ emisyonları ise enerji sektörü içerisinde yaklaşık %18 paya sahiptir. 2007 yılı verileri ile ulaştırma

*sorusbay@itu.edu.tr

sektöründen kaynaklanan yıllık CO₂ emisyonu değeri 51421 Gg olup Kyoto referans yılına göre, 1990 – 2007 döneminde %98 artış gerçekleşmiştir. CO₂ emisyonları içerisinde %83,5 paya sahip olan karayolu ulaşımında en önemli katkı 30962 Gg ile motorin tüketimi sonucu sağlanmakta, ayrıca benzin ve LPG kullanımını sonucu sırasıyla 7646 Gg ve 5989 Gg CO₂ üretilmektedir.

Ülkemizdeki araç parkı değerlendirildiğinde, kişi başına düşen araç sayısı halen gelişmiş ülkelerdeki değerin çok altındadır. Belçika, Danimarka, Almanya, Yunanistan, Fransa, İtalya, Lüksemburg vb Avrupa Ülkelerinde 1000 kişi başına düşen otomobil sayısı 360 ila 655 arasında değişirken, Türkiye’de 1000 kişi başına 85 otomobil düşmektedir (TUİK, 2009). Ancak ülkemizde kişi başına düşen araç sayısı giderek artış göstermektedir.

2008 yılı verileri ile Türkiye’de 13.675.395 adet motorlu taşıt bulunmakta olup bunların 6.796.629 adedi otomobildir (TUİK, 2009). Bu çalışmada özellikle araç parkının önemli bir kısmını oluşturan benzin motorlu otomobillerin şehir içi trafik koşullarında oluşturdukları kirletici emisyonların belirlenmesi ve farklı kullanım ortamlarının emisyonlara etkisinin saptanması amaçlanmıştır. Türkiye’deki araç parkını temsil edecek şekilde seçilen farklı emisyon kontrol teknolojilerine sahip olan benzin motorlu otomobiller, üç değişik sürüş çevrimine göre test edilerek birim mesafe başına atmosfere atılan emisyonlar değerlendirilmiştir.

TAŞIT SÜRÜŞ KOŞULLARININ ETKİSİ

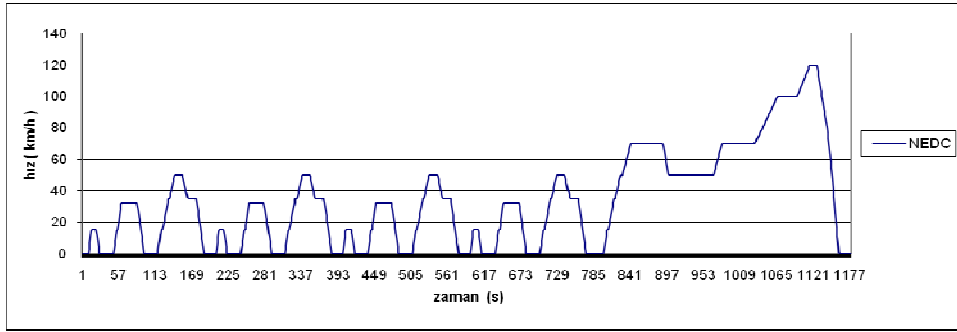
Karayolu taşıtlarından kaynaklanan yerel kirleticiler karbon monoksit (CO), yanmamış hidrokarbonlar (HC) ve azot oksitlerden (NO_x) oluşmaktadır. Ayrıca diesel motorlu araçlardan kaynaklanan partikül madde (PM) emisyonları da bulunmaktadır. Bu emisyonların oluşumunda motorun çalışma koşulları, motorun ve taşıtın yapısal özellikleri kadar etkin olmaktadır. Dolayısıyla taşıtın seyri sırasında hava fazlalık katsayısının, motor dönme sayısının, ateşleme zamanının, motor ve ortam sıcaklıklarının değişimi yanma sürecini etkilemekte ve kirletici emisyonlar üzerinde de etkin olmaktadır. Bu nedenle taşıtın boşta çalışma, ivmelenme, hız kesme, sabir hızda seyir gibi farklı çalışma koşullarında farklı emisyon değerlerinin elde edilmesi söz konusudur. Bu çalışmada trafik akımının belirtilen farklı taşıt sürüş koşullarına etkisi sonucu egzoz gazı emisyonlarındaki değişim incelenmiştir.

Bu amaçla, taşıtların tip onayı amacıyla kullanılan **Avrupa Test Çevrimi** (NEDC) ve **A.B.D. Test Çevrimi** (FTP 75) kapsamında tanımlanan sürüş koşullarında benzin motorlu otomobillerden kaynaklanan egzoz emisyonları ölçülmüştür (Şekil 1.). Farklı sürüş koşullarının karakterize edildiği bu iki standart çevrime ek olarak, gerçek şehir içi trafik davranışlarının temsil edildiği **İstanbul Şehir Çevrimi** (IDC) kullanılarak aynı araçlar üzerinde deneyler tekrarlanmıştır (Şekil 2.).

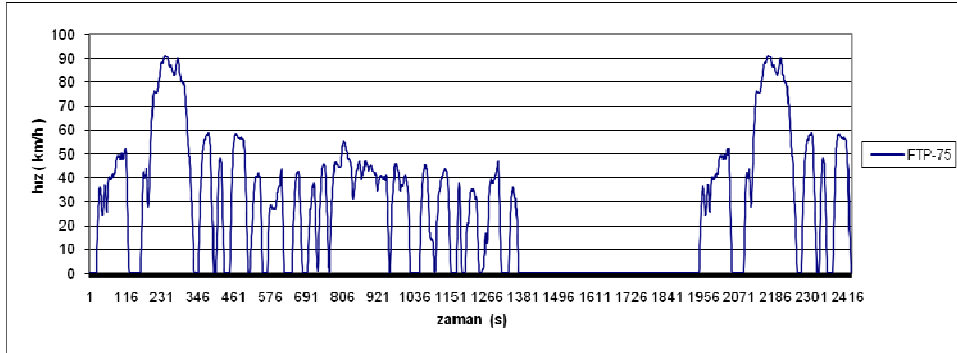
IDC Türkiye’de büyük şehirlerdeki trafik akımını karakterize etmek amacıyla, haftanın farklı günlerinde ve günün farklı saatlerinde veri toplama aracı ile kayıt edilen verilerden hareket edilerek istatistiksel olarak oluşturulmuş bir seyir çevrimidir (Dinç vd., 2010). Bu çevrimin oluşturulması amacıyla İstanbul şehrinde dört farklı güzergah üzerinde sürülen bir veri toplama aracıyla kayıtlar gerçekleştirilmiştir. Ayrıca İstanbul Büyükşehir Belediyesi tarafından

yerleştirilmiş olan elektronik donanımlı sayım cihazlarından (RTMS) aynı anda elde edilen veriler de birlikte değerlendirilmiştir. Güzergahlarda yolculuk süresi, hacim/kapasite oranı, hız dağılımı ve toplam araç-km gibi performans değerleri tüm İstanbul yol ağının model değerleri ile karşılaştırılarak, güzergahların uygun kesimleri saptanarak karma güzergah oluşturulmuştur. Sonraki aşamada ise bu verilerden hareketle, laboratuvar ortamındaki simülasyonların gerçekleştirilebileceği uzunlukta temsili sürüş çevrimi oluşturulurken gerçek çevrimle olan fark (hata) minimize edilmiştir.

Bu çevrimin toplam uzunluğu 8,61 km, çevrim süresi 1003 saniyedir. Çevrim boyunca ulaşılan maksimum hız 78,0 km/saat, ortalama hız ise 30,9 km/saat'tir.

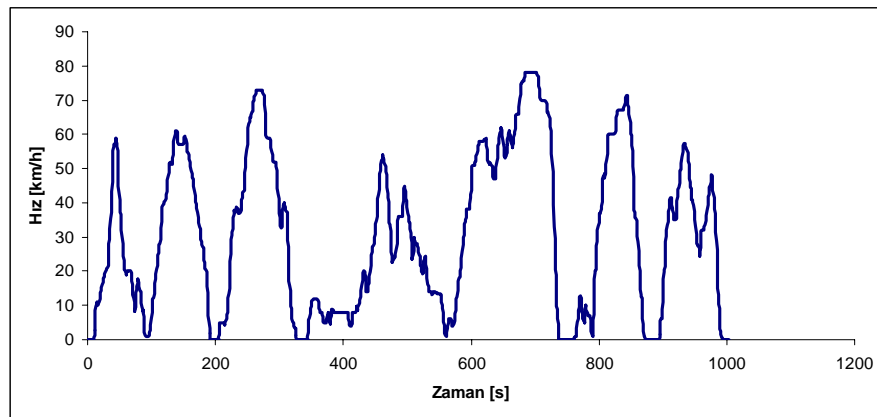


a) Avrupa Test Çevrimi



b) A.B.D. Test Çevrimi

Şekil 1. Araç Tip Onay Testlerinde Kullanılan Standart Test Çevrimleri

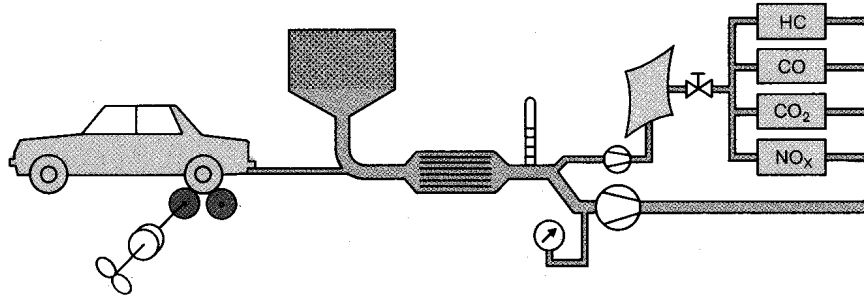


Şekil 2. İstanbul Şehir Çevrimi (IDC), (Dinç vd., 2010)

EGZoz EMİSYONLARININ ÖLÇÜMÜ

DeneYlerde farklı emisyon kontrol teknolojilerine sahip 30 adet benzin motorlu otomobil kullanılmıştır. Bu araçların dağılımı taşıt parkını temsil edecek şekilde gerçekleştirilmiştir. Buna göre 1994 model yılı öncesi, emisyon kontrol sistemi bulunmayan araçlar (EKB) bir grupta değerlendirilmiştir. Ayrıca R15.04, EURO 1, EURO 3 ve EURO 4 emisyon standartlarına uyan otomobiller de ayrı gruplarda değerlendirilmiştir.

İ.T.Ü. Otomotiv Laboratuvarında gerçekleştirilen deneylerde, deney öncesi şartlandırma işlemi gerçekleştirilen araçlar daha sonra şasi dinamometresi üzerinde tanımlanan sürüş çevrimlerine göre sürülerek araçların egzoz emisyonları standartlarda belirtilen şekilde değerlendirilmiştir (Şekil 3.). Deneyler iki farklı standart test çevrimi (NEDC ve FTP-75) ve İstanbul Şehir Çevrimi (IDC) için tekrarlanmıştır (Öztürk, 2010 ve Sel, 2010).



Şekil 3. Şasi dinamometresi üzerinde egzoz gazı emisyonlarının ölçümü

DeneYler sırasında sabit hacimde örnek alma yöntemine göre toplanan egzoz gazı örneklerinden hareket edilerek araçların birim mesafe başına ürettikleri CO, yanmamış HC ve NO_x miktarları her bir sürüş çevrimi için belirlenmiştir (Tablo 1. – 3.). Her bir emisyon kontrol teknolojisine ait taşıtlardan elde edilen değerlerin ortalaması alınarak tablolarda verilmiştir. Ayrıca ölçülen değerler, IPCC (Intergovernmental Panel on Climate Change) tarafından tanımlanan ön-değerlerle karşılaştırılmıştır (IPCC, 1996 ve IPCC, 2006).

Tablo 1. Farklı sürüş koşullarında CO emisyon faktörleri

CO emisyonları [g/km]

	FTP	AB	IDC	IPCC
EKB	16,498	17,772	36,467	46
R15.04	9,312	10,24	13,914	19
EURO1	2,357	3,390	7,071	2,9
EURO3	2,630	3,743	5,881	2,9
EURO4	0,430	0,518	1,368	-

İstanbul Şehir Çevrimi (IDC) sürüş koşullarında ölçülen CO emisyonları FTP ve AB çevrimlerine göre elde edilen değerlerden yüksek çıkmıştır. Yanma ürünleri arasında CO bulunmasının ana nedeni oksijenin yetersiz olmasıdır. Zengin karışimli yanmada, yakıtın karbonunun tümü CO₂'ye dönüşmemekte ve CO oluşmaktadır. Ortalama taşıt hızının diğer çevrimlere göre düşük olduğu IDC sürüş koşullarında, boşa çalışma (bekleme), ivmelenme, düşük yüklerde çalışma vb işletme koşullarındaki zengin karışım kullanımının etkisi görülmüştür. Özellikle EKB sınıfına ait taşıtların CO emisyonları IDC sürüş şartlarında önemli artış göstermiştir.

EKB sınıfı ve R15.04 emisyon standardına uygun otomobillerde CO emisyonları diğerlerine göre her çevrim için yüksek çıkmaktadır. Bu araçların benzin püskürtme sistemi yerine karbüratör kullanmakta olması sonucu hava/yakıt oranının hassas ayarlanamaması yüksek CO emisyonlarının ana nedenidir. Ayrıca model yılı eski olan bu araçların yüksek yakıt tüketim değerleri ve bakım/ayar sorunları da tüm emisyonların artışına neden olmaktadır.

Tablo 2. Farklı sürüş koşullarında HC emisyon faktörleri

HC emisyonları [g/km]

	FTP	AB	IDC
EKB	2,990	2,188	4,137
R15.04	1,398	1,132	1,528
EURO1	0,601	0,652	0,915
EURO3	0,539	0,521	0,721
EURO4	0,052	0,052	0,155

Benzer şekilde yanmamış HC emisyonları da şehir içi trafik koşullarında artmıştır. Egzoz gazları içerisinde HC bulunması, yakıtın tam olarak yakılamadığını gösterir. HC emisyonunun temel nedeni sıcaklık seviyesinin veya oksijenin yetersiz olması sonucunda yanmanın tamamlanamamasıdır. Yanma odasında ortalama olarak zengin karışım söz konusu olabileceği gibi, yerel olarak da oksijenin yetersiz kaldığı bölgeler bulunabilir. Ayrıca konumsal olarak, özellikle cidarlara yakın bölgelerde sıcaklık seviyelerinin de düşük olması alevin sönmeye ve yakıt oksidasyonunun tamamlanamamasına neden olabilmektedir.

Özellikle EKB sınıfındaki araçlarda, HC emisyon seviyesinin çok daha yüksek olduğu görülmektedir. Model yılı eski araçların karbüratör ayarsızlıkları ve bakım/ayar sorunlarından kaynaklanan etkenler bu taşıtların yakıt tüketimi ve egzoz emisyonu değerlerini artırmaktadır. Dolayısı ile belirli model yılından önce trafiğe çıkmış olan araçların hurdaya çıkartılması yönündeki teşvikler çevre kirliliği ve sera gazı emisyonlarının azaltımında etkin olmaktadır.

Azot oksit emisyonlarında ise IDC sürüş koşulları ile FTP ve AB çevrimleri arasında önemli bir değişim söz konusu değildir. Bu durum, IDC çevriminde, araç hızlanmalarının diğer çevrimlere benzer olmasından kaynaklanmaktadır.

Tablo 3. Farklı sürüş koşullarında NO_x emisyon faktörleri

NO_x emisyonları [g/km]

	FTP	AB	IDC	IPCC
EKB	1,150	1,329	0,846	2,2
R15.04	1,062	1,160	1,022	2,3
EURO1	0,589	0,716	0,658	0,5
EURO3	0,303	0,399	0,374	0,5
EURO4	0,032	0,046	0,083	

Azot oksit emisyonlarının oluşumunda silindir içi sıcaklıkların önemli etkisi bulunmaktadır. Özellikle 1800 K üzerindeki yanma odası sıcaklıklarında, sıcaklık seviyesi artıkça NO_x emisyonları da önemli ölçüde artmaktadır. Maksimum hızın en yüksek olduğu AB çevriminde azot oksitlerin de yüksek seviyeye çıktığı görülmektedir.

Deneylerde ayrıca araçların farklı kullanım koşullarındaki yakıt tüketim değerleri ve buna bağlı olarak ürettikleri CO₂ emisyonları da değerlendirilmiştir (Tablo 4.). Bu değerler de IPCC tarafından tanımlanan ön-değerler ile karşılaştırılmıştır.

Tablo 4. Farklı sürüş koşullarının yakıt tüketimine ve CO₂ emisyonlarına etkisi

	FTP		AB		IDC		IPCC
	CO ₂ [g/km]	Yakıt [l/100km]	CO ₂ [g/km]	Yakıt [l/100km]	CO ₂ [g/km]	Yakıt [l/100km]	CO ₂ [g/km]
EKB	149,5	7,9	169,1	8,6	157,4	9,6	270
R15.04	139,2	6,8	166,1	7,8	165,9	8,1	200
EURO1	134,8	6,0	169,5	7,5	170,8	7,8	205
EURO3	133,3	5,9	155,4	6,9	159,6	7,2	205
EURO4	144,9	6,2	153,6	6,5	164,7	7,1	205

IDC çevrimine göre sürüşte, birim mesafe başına yakıt tüketim değerleri tüm emisyon sınıfları için yüksek çıkmıştır. Ayrıca FTP çevrimine göre sürüşte elde edilen değerler de genelde en düşük seviyededir.

Yakıt tüketimi değeri ile doğru orantılı olarak CO₂ değeri de değişmektedir. EURO 1, EURO 3 ve EURO 4 emisyon sınıflarındaki araçlarda IDC çevriminin değerleri AB çevriminden yüksek durumdayken, EKB grubu ve

R15.04 standardına uygun otomobillerde ise AB çevrimi değerleri IDC çevrimi değerlerinin üzerindedir. CO₂ değerleri açısından tüm emisyon sınıflarında, FTP sürüş çevrimi değerleri en düşük olarak ortaya çıkmıştır. FTP çevriminde ivmelenmeler yoğun olmakla birlikte, azami hızın AB çevrimindeki kadar yüksek olmaması ve ortalama hız açısından da IDC çevrimindeki gibi düşük bir hız ortalamasına sahip olmaması nedeniyle, CO₂ emisyonları ve yakıt tüketimi için diğer iki çevrimden daha düşük değerler saptanmıştır.

Genel olarak IPCC ön-görülürleri ise tüm ölçümlerden yüksektir.

SONUÇLAR

Bu çalışmada, ülkemizdeki araç parkını temsil edecek şekilde, literatürdeki mevcut çalışmalara oranla çok daha fazla sayıda araç üzerinde gerçekleştirilen dinamometre testleri ile veri toplanmıştır.

İstanbul'un yoğun trafik koşulları nedeniyle, IDC çevriminin genel olarak durma ve çok düşük hızda çalışma yönünden diğer çevrimlerden daha zorlayıcı olması sonucu yüksek yakıt tüketim değerleri ve dolayısı ile daha yüksek emisyon seviyeleri belirlenmiştir.

Teknolojik gelişmeler sonucunda araç başına emisyon seviyelerinin son yıllarda büyük oranda düşürülebildiği görülmektedir. Bu nedenle araç parkında bulunan eski araçların, kademeli olarak kullanımdan çekilmesi emisyonların kontrolü açısından önem taşımaktadır.

Araçların yakıt tüketimleri ve kirlenici egzoz gazı emisyonları trafik akımından da önemli ölçüde etkilenmektedir. Dolayısı ile trafik akımının yakıt tüketimini minimuma indirecek şekilde düzenlenmesi, trafik tıkanıklıklarının giderileceği şekilde sinyalizasyon sistemlerinin ayarlanması, maksimum hızların sınırlandırılması da etkin olmaktadır. Ayrıca karayolu taşıtlarına alternatif olarak toplu taşımacılık sistemlerinin yaygınlaştırılması yolcu-km başına emisyonlarda önemli azaltım sağlayacaktır.

TEŞEKKÜRLER

Bu çalışma TÜBİTAK tarafından desteklenen **Ulaştırma Sektöründe Sera Gazı Azaltımı** isimli ve 105G039 numaralı proje kapsamında desteklenmiştir.

KAYNAKLAR

Dinç, C., Kocagül, M., Sorousbay, C., Ergeneman, M. and Gökten, A.G., **Development of a Driving Cycle for the Estimation of Vehicle Emissions in Istanbul**, Transportation Research, Part D: Transport and Environment, (yayınlanmak üzere sunuldu).

International Energy Agency (IEA), **World Energy Outlook 2008**, France, 2008.

IPCC, **Revised 1996 IPCC Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories : Reference Manual**, Vol. 3, London, 1996.

IPCC, **2006 IPCC Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories**, Vol. 1, Japan, 2006.

Sel, E., **Benzinli Binek Araçlarda İşletme Koşullarının Sera Gazı ve Diğer Kirlenici Egzoz Emisyonlarına Etkisi**, Yüksek Lisans Tezi, İ.T.Ü. Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul, 2010.

TUİK, **Ulaştırma İstatistikleri Özeti 2008**, ISSN 1300-1019, Ankara, 2009.

Öztürk, H.A.T., **İstanbul Şehir Çevriminin A.B.D. ve Avrupa Test Çevrimleri ile Emisyon Faktörleri ve Yakıt Tüketimi Açısından Deneysel Olarak Karşılaştırılması**, Yüksek Lisans Tezi, İ.T.Ü. Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul, 2010.