



Paper Produced from PhD Thesis Presented at
Graduate School of Natural and Applied Sciences, Yıldız Technical University
Yıldız Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü
Doktora Tezi Kapsamında Hazırlanan Yayın



Research Article / Araştırma Makalesi
**AN APPROACH FOR DETERMINATION OF INDOOR AIR POLLUTANT
CONCENTRATIONS**

Polat DARÇIN*, Ayşe BALANLI

Yıldız Teknik Üniversitesi, Mimarlık Fakültesi, Mimarlık Bölümü, Yıldız-İSTANBUL

Received/Geliş: 10.11.2014 Accepted/Kabul: 03.11.2015

ABSTRACT

Many indoor air pollutants, emerging from different sources, can cause indoor air pollution as a result of accumulation in air of buildings' closed spaces. Exposure starts with the presence of humans and may result with a vast range of health and comfort problems, such as headache and cancer. It is believed that, to prevent or eliminate such problem, it is necessary to assess the negativity level, firstly. One of the important steps along the assessment process is the determination of pollutant concentration levels in the air. This determination can be managed by using many measurement methods, mathematical models or computer simulation programs. However, to gain realistic results through an appropriate process, it is necessary to plan the determination phase and produce accurate decisions for the determination process. The needed decisions for the related action steps can be made with the help of a systematic approach, generated to serve his purpose, unnecessary time – cost – labor costs can be avoided during the research and accurate concentration level data, convenient with the actual situation, can be acquired.

Keywords: Indoor air pollution, pollutant concentrations, measurement, mathematical models, simulation.

**YAPI İÇİ HAVA KİRLETİCİLERİNİN YOĞUNLUK DÜZEYLERİNİN BELİRLENMESİNE
YÖNELİK BİR YAKLAŞIM**

ÖZ

Çeşitli fiziksel, kimyasal ve biyolojik özelliklerdeki yapı içi hava kirleticileri, farklı kaynaklardan çıkarak, yapının kapalı birimlerinin havasında birikebilir. Yapı kullanıcıları insanların bu birimlerde bulunmasıyla, insanlar karşı karşıya kaldığı iç hava kirleticilerinden etkilenebilmekte ve baş ağrısından kansere dek çeşitli sağlık sorunları yaşayabilmektedir. Söz konusu olumsuzluğun giderilmesi ya da önlenmesi için öncelikle değerlendirilmesi gerekli görülmüştür. Değerlendirme sürecindeki önemli adımlardan birisi ise kirleticilerin havadaki yoğunluk düzeylerinin belirlenmesidir. Belirleme işlemi çeşitli ölçüm, hesaplama ya da bilgisayar benzetimi yöntemleri kullanılarak yapılabilir. Buna karşın, doğru sonuçların elde edilmesi ve belirlenmenin uygun koşullarda gerçekleştirilebilmesi için, karşılaşılan duruma uygun bir şekilde belirleme sürecinin planlanmasına ve süreçle ilgili kararların üretilmesine gereksinim vardır. Bu amaçla oluşturulmuş bir yaklaşım aracılığıyla, ilgili eylem adımlarına yönelik kararlar verilebilir ve araştırmada zaman-maliyet-işgücü yitkilerinden kaçınılarak, yapıda karşılaşılan durumu doğru yansıtabilecek yoğunluk düzeyi verileri elde edilebilir.

Anahtar Sözcükler: Yapı içi hava kirliliği, kirletici yoğunluk düzeyleri, ölçüm, hesaplama, benzetim.

* Corresponding Author/Sorumlu Yazar: e-mail/e-ileti: darcinpolat@yahoo.com, tel: (212) 383 26 17

1. GİRİŞ

Yapı içi hava kirliliği, havanın içeriğini oluşturan maddelerin normal yoğunluk oranlarının bozulması ya da kirleticilerin havada yaşamı olumsuz etkileyecek düzeyde birikmesi olarak tanımlanmaktadır [1]. Bu durum çoğunlukla farklı nitelikte ve nicelikte birçok kirletici türü nedeniyle ortaya çıkmakta [2] ve çeşitli etkilerle, yapıda yer aldığı bölgeye göre ya da zaman içinde değişiklik göstermektedir [3]. Karşı karşıya kalınması durumunda yapı kullanıcıları insanı olumsuz etkileyebilen iç hava kirliliği, konfor sorunlarının yanı sıra, baş ağrısından kansere dek birçok sağlık sorunu oluşturabilmektedir [4]. Söz konusu olumsuzluğun giderilmesi için, öncelikle var olan durumun değerlendirilmesi, başka bir anlatımla, yapılarda karşılaşılan iç hava kirliliğinin nitel ve nicel özelliklerinin belirlenmesi ve bu özelliklerle ilgili kullanıcı sağlığı açısından bir karar üretilmesi gerekli görülmektedir. Belirtilen nitelikteki değerlendirme,

- konuyu iç hava kirleticileri, kullanıcı ve kirleticilerle kullanıcıyı bir araya getiren yapının kapalı birimleri / ortamlar çerçevesinde ele alan,

- gerekli özellikleri doğru bir şekilde ve uygun koşullarda belirleyen,

- elde edilen verileri ilişkilendirerek gereksinilen kararı üreten

sistemli bir yaklaşım aracılığıyla gerçekleştirilebilir. Bu yaklaşım kapsamındaki önemli adımlardan birisi yapıdaki ortamların havasında da yer alarak kullanıcıyı etkileyen iç hava kirleticilerinin yoğunluk düzeylerinin belirlenmesidir.

Etkilenim ortamlarının havasındaki kirleticilerin yoğunluk düzeyleri, birbirini izleyen eylem adımlarını kapsayarak bir süreç oluşturan çeşitli yöntemlerle belirlenmektedir. Bu yöntemler, söz konusu adımların

- uygulanması öncesinde birbirine göre farklı nitelikte verilerin elde edilmiş olmasına [5],
- uygulaması sırasında farklı zaman – maliyet – işgücü koşullarını sağlanmasına [6] ve
- istatistik, kimya, biyoloji, fizik vb farklı bilim alanlarında uzmanlıklara

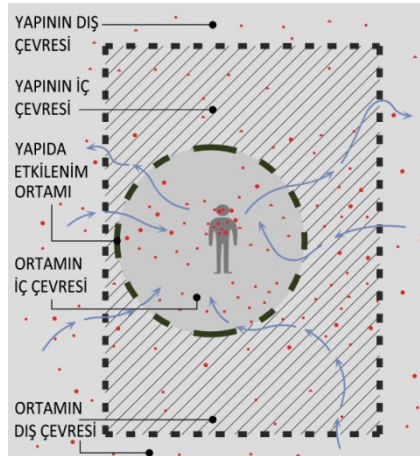
gereksinim doğurmaktadır. Yöntemlerin uygulanması sonrasında elde edilen kirletici yoğunluk düzeyi verileri ise yine birbirine göre farklı nitelikte olabilmektedir [7]. Belirtilen özellikler nedeniyle, var olan yapıdaki iç hava kirliliğinin doğru bir şekilde değerlendirilebilmesi için, kirleticilerin ortam havasındaki yoğunluk düzeylerinin, karşılaşılan durumu doğru yansıtacak gerçekçi verilerle ve araştırmanın amacına / kapsamına uygun zaman – maliyet – işgücü koşullarında elde edilmesi gerekli görülmektedir. Bu durum ise, belirleme süreci öncesinde uygun kararlar oluşturularak, sürecin planlanmasını gerektirir. EPA [5] gibi kurumlar ve Viegı ve arkadaşları [8] gibi bazı araştırmacılar, söz konusu gereksinimin önemini vurgulamıştır; ancak, yapı içi hava kirliliğinin değerlendirilmesini konu edinen birçok bilimsel yayında[†], bu gereksinimi karşılayacak uygun bir yaklaşımla karşılaşmamıştır.

Bu çalışmanın amacı, iç havada var olan kirleticilerin yoğunluk düzeylerinin belirlenmesi sürecine yönelik, söz konusu gereksinimleri karşılayacak bir yaklaşım ortaya koymaktır. Konu, sağlıklı iç çevrelerin elde edilmesi, sürdürülmesi ve var olan yapıdaki iç hava kirliliğinin doğru bir şekilde değerlendirilebilmesi açısından önemli görülmektedir. Kirletici yoğunluklarının belirlenmesinde ortaya çıkan bu gereksinimlerin, yapıdaki kirletici – kullanıcı – ortam özelliklerine ilişkin bir ön araştırmanın gerçekleştirilmesi ve bu ön araştırma sonuçlarına göre belirleme sürecine yönelik kararların oluşturulmasıyla yanıtlanabileceği varsayılmıştır. Çalışmada, etkilenim sonucu kullanıcının bedeninde ortaya çıkan kirletici yoğunluklarının belirlenmesi, insanın biyolojik yapısına ilişkin bilgiler gerektirmesi nedeniyle, ayrı bir çalışmada ele alınmak üzere, kapsam dışı tutulmuştur.

[†] Örneğin Asadi, Gameiro da Silva ve Costa'nın [9]; Klinmalee, Srimongkol ve Oahn'ın [10]; Hong Kong Hükümeti'nin [11]; Miller, Scaramello, Campe, vd.'nin [12]; Kulshreshtha, Khare ve Seetharaman'ın [13]; Mengersen, Morawska, Wang, vd.'nin [14] çalışmaları.

2. YAPI İÇİ HAVA KİRLİTİCİLERİNİN ORTAM HAVASINDAKİ YOĞUNLUK DÜZEYLERİ

Yapının kapalı birimlerinin havası çeşitli kaynaklardan çıkan ve farklı fiziksel, kimyasal ya da biyolojik özelliklerde birçok kirletici türünü barındırabilir. Kullanıcının yapı içi hava kirliliğinden etkilenmesi, bu kirleticilerin ortamda insan bedenine ulaşmasıyla başlamaktadır (Şekil 1) [15]. Etkilenim sonucu ortaya çıkan sağlık ve konfor sorunları ise, kullanıcıya ilişkin bazı özelliklerin yanı sıra, kullanıcının karşı karşıya kaldığı kirleticilerin niceliği, diğer bir anlatımla, bedenin yakın çevresindeki havada ortaya çıkan yoğunluk düzeyleriyle ilişkilendirilmektedir [16].



Şekil 1. Yapıda etkilenim ortamında iç hava kirlenim ortamı ve kullanıcı bir araya gelmesi

Kirleticilerin ortam havasındaki yoğunluk düzeyi, ortamdaki farklı bölgelerde ve zaman içinde, kirleticilerin birbirine, ortamın ve kullanıcıların ise kirleticilere etkileri nedeniyle değişebilmektedir [17]. Söz konusu bu durum, kullanıcıların yapı içi hava kirliliğinden etkilenmesiyle ilgili çalışmalarda kirletici yoğunluklarının belirlenmesi açısından önemli görülmektedir.

2.1. Kirleticilerin Ortam Havasındaki Yoğunluk Düzeyini Etkileyen Kirletici Özellikleri

Ortam havasındaki kirletici yoğunlukları, kirletici kaynaklarının ve havada kirleticiler arasında gerçekleşebilen etkileşimlerin özelliklerine bağlı olarak değişebilmektedir.

Yapı içi hava kirleticileri yapı dışındaki çevreden, yapı ürünlerinden ve kullanıcılardan ya da kullanıcı eylemlerinden kaynaklanabilmektedir [18]. Kirleticilerin ortam havasındaki yoğunluğu açısından önemli özellikler, kirletici kaynaklarının konumları, bu kaynaklarda gerçekleşen salınımın miktarı, süresi, yinelenme sıklığı, zamanlaması ve doğrultusu olarak sayılabilir.

Kirleticilerin ortam havasına karışması ve niceliği, kirletici kaynaklarının konumuyla ilişkilidir. İç hava kirleticilerinin kaynakları ortamın dış ve / ya da iç çevresinde bulunabilir. Ortamın iç çevresinde bulunan kaynaklardaki salınımla, kirleticiler doğrudan ortam havasına karışırken; dış çevrede yer alan kaynaklardan salınan kirleticiler hava devinimleri, ortamın iç ve dış çevresi arasında basınç farklılıkları, insanların giysileri, insan ve hayvanların bedenleri vb aracılığıyla ortam havasına taşınabilmektedir.

Bir kaynaktan havaya birim zamanda [17], birim eylemde ya da kaynağın birim alanından [19] salınan kirleticinin niceliği, o kaynağın salınım miktarı olarak tanımlanmaktadır. Milner ve

arkadaşları [20] bazı kirletici kaynaklarının belirli koşullar altındaki salınım miktarlarının saptanmış olduğunu, ancak tüm kaynaklara ilişkin düzenli bir arşivin bulunmadığını belirtmiştir.

Çeşitli nitelikteki kaynaklar uzun ya da kısa süreli salınım yapabilir ve salınım sürekli ya da süreksiz (kesintili) olabilir [21]. Süreksiz salınım kısa aralıklarla sık ya da uzun aralıklarla seyrek olarak yinelenebilmektedir [17]. Polen gibi bazı kirleticiler çoğunlukla yılın belirli bir zamanında salınıırken, nikotin gibi bazıları tütünün yanması sırasında ortaya çıkmaktadır. Kirleticiler, kaynağın ve çevresinin özelliklerine bağlı olarak, kaynaktan havaya doğru belirli bir ya da birden çok doğrultuda salınabilir [22].

Birçok durumda, ortam havasında farklı kirletici türlerinin bir arada bulunması nedeniyle, kirleticiler arasında bazı etkileşimler gerçekleşebilmektedir [23]. Bu etkileşimler, fiziksel etkileşimler ve kimyasal tepkimeler olarak iki alt grupta incelenebilir. Fiziksel etkileşimler havada yer alan kirleticilerin bir araya gelmesiyle / kümelenmesiyle oluşmaktadır [21]. Kimyasal tepkimeler ise, havadaki farklı maddelerin tepkimeye girerek farklı türde kirleticiler oluşturması olarak tanımlanmaktadır [24]. Söz konusu etkileşimler sonucunda, etkileşimin gerçekleşmesinden önce havada var olan kirleticilerin yoğunluk düzeyi değişebilmekte ya da yeni kirleticiler oluşarak belirli bir yoğunluğa ulaşmaktadır.

2.2. Kirleticilerin Ortam Havasındaki Yoğunluk Düzeyini Etkileyen Ortam ve Kullanıcı Özellikleri

İç hava kirleticilerinin ortam havasındaki yoğunlukları, ortamın hacmine, ortamın iç çevresinde ya da iç – dış çevresi arasındaki hava devinimlerine, ortamdaki hava değişim sayısına, kirleticiler ve ortamdaki yüzeyler arasında gerçekleşen etkileşimlere bağlı olarak değişebilmektedir.

Ortam havasına karışan kirleticiler fiziksel özelliklerine ve ortamdaki hava koşullarına bağlı olarak ortam içinde dağılmaktadır. Gaz / buhar durumundaki kirletici molekülleri, içinde buldukları kapalı hacimde, koşulların uygun olması durumunda, birbirine eşit aralıklarla sıralanarak, ortamın her noktasında aynı yoğunluğu oluşturabilir [25]. Parçacık durumundaki kirleticiler ise, parçacıkların fiziksel özelliklerine bağlı olarak, ortamda bağdaşık (homojen) olmayan bir yoğunluk ortaya çıkarabilir.

Kapalı ortamların havasında gerçekleşerek kirletici yoğunluğunu etkileyen temel olay hava moleküllerinin devinmesi ve böylece kirleticilerin taşınmasıdır [26]. Hava, ortamdaki kullanıcıların (insan ve / ya da hayvan) eylemlerinin (örn: koşturmak, elektrik süpürmesini kullanmak vb.) yanı sıra, ortamın iç çevresinde / iç – dış çevresi arasındaki basınç farkı nedeniyle devinmektedir. Söz konusu devinim, ortamı sınırlayan yapı ürünleri aracılığıyla doğal ya da yapma havalandırma sistemi gibi öğelerin kullanılmasıyla yapay olabilir. Ortamın kapsadığı tüm havanın, ortam dışındaki havayla doğal ya da yapay devinim sonucunda yer değiştirmesi ise hava değişimi olarak tanımlanmaktadır. Bir saatte ortamın hacmi kadar dış havanın, ortamdaki havayla kaç kez yer değiştirdiği hava değişim sayısını belirlemektedir [27]. Devinimle ortam içinde farklı bölgelerde farklı kirletici yoğunlukları oluşabildiği gibi, zaman içinde ortamdaki bir kirleticinin yoğunluğu da değişebilir.

Kirleticiler ortam havasında devinirken bir yüzeye dokunduğu zaman bu yüzeyden sekerek yeniden havaya karışabilir, yüzey üzerine tutunabilir ya da yüzeyi oluşturan maddenin içine girebilir / emilebilir [16]. Yüzeye tutunan ya da yüzey tarafından emilen kirleticiler, belirli koşullarda yeniden havaya karışabilir ya da bir arada bulunduğu maddeyle tepkimeye girerek havaya salınabilen yeni bir kirleticinin oluşmasına neden olabilir [21]. Söz konusu etkileşimin özellikleri üzerinde, ortamdaki havanın sıcaklığının [6], nemliliğinin [28] ve yüzeylerin ya da yüzey altındaki katmanların ıslaklığının [29] etkin olduğu belirlenmiştir.

3. ORTAM HAVASINDAKİ KİRLETİCİ YOĞUNLUKLARININ ÖLÇÜLMESİ

Bilimsel alanyazında yer alan ve ortam havasındaki kirletici yoğunluklarının belirlenmesinde yararlanılan temel yöntemler; kirletici yoğunluklarının çeşitli aygıtlar kullanılarak ölçülmesi, matematiksel formüllerle hesaplanması ve bilgisayar benzetimiyle (simülasyon) belirlenmesi olarak sayılabilir.

3.1. Ortam Havasındaki Kirletici Yoğunluklarının Ölçülmesi

Ortam havasındaki kirletici yoğunluklarının belirlenmesinde kullanılan ve kirleticinin türüne göre değişen ölçüm yöntemleri, ölçümün gerçekleştiği yere göre, kirleticilerin

- ortamda ölçülmesi / doğrudan ölçüm,
- laboratuarda ölçülmesi / dolaylı ölçüm

olarak ikiye ayrılmaktadır [30] (Çizelge 1). Doğrudan ölçüm yönteminde, ortam içinde çalıştırılan ölçüm aygıtıyla (izleyici aygıt), aygıtın çalışma süresi boyunca, bulunduğu konumun yakın çevresindeki kirleticinin yoğunluğu ve yoğunluğunun zamansal değişimi elde edilirken; dolaylı ölçüm yöntemi,

- ortamdaki kirleticilerin havadan ya da yüzeylerden toplanması, başka bir anlatımla örneklenmesi,
- örneklenen kirleticilerin laboratuara götürülerek ayrıştırılması ve bazı durumlarda (bakteri, küf mantarı vb. kirleticiler için) çoğaltılması,
- elde edilen her kirleticinin niceliğinin saptanması

adımlarından oluşmakta; böylece örnekleme eylemi sırasında, ortamda örnekleyici aygıtın çevresinde var olan kirleticilerin örnekleme süresinde ortaya çıkan ortalama yoğunluk düzeyi belirlenmektedir [16].

Çizelge 1. Ölçüm yöntemine göre aygıt sınıfları ve temel özellikleri

yöntemin türü	aygıt sınıfı	temel özellikler
ortamda ölçüm (doğrudan ölçüm)	izleyici aygıtlar	İzleyici aygıtlar, ölçümü ortamda ya da laboratuarda gerçekleştiren ve ölçüm sonuçlarını belirli aralıklarla kaydedebilen aygıtlardır [27].
laboratuarda ölçüm (dolaylı ölçüm)	örnekleyici aygıtlar	Kirletici örneklerinin toplanmasını sağlayan araçlar <ul style="list-style-type: none">• ortamdaki havanın bir bölümünü tepkimesiz maddeden üretilmiş bir kap içine alan,• belirli hacimdeki ortam havası aygıtın içinde yer alan tutucu ya da emici bir maddeden geçerken kirleticileri yakalayan [31] ya da aygıtı giren kirleticiyle kimyasal tepkime oluşturabilecek bir çözelti içeren [30],• ortamda yüzeyler üzerindeki kirleticileri toplayan [32]• ortam havasını etkilemesi olası su içindeki kirleticileri elde eden [9] aygıtlar / düzeneklerdir.
	ayırıştırıcı aygıtlar	Laboratuara getirilen örnek içindeki birden çok kirleticiyi birbirinden, bir kirleticiyi örnekleyicinin emici / tutucu yüzeyinden / maddesinden ya da kimyasal tepkime ürününü örnekleyiciden ayıran aygıtlar ya da düzeneklerdir. Ayrıştırma işleminde çoğunlukla kromatografi yöntemiyle çalışan aygıtlar kullanılmaktadır.
	belirleyici aygıtlar	Kromatografik aygıtlarla birlikte de çalışabilen belirleyiciler, ayrıştırılan her kirleticinin yoğunluk düzeyini ve diğer özelliklerini ortaya koymaktadır [33].

Bir ya da aynı anda birden çok kirleticiyi ele almak için kullanılan [26] izleyici ve örnekleyici aygıtlar, ortamda sabit bir konumda çalıştırılabildiği gibi, kullanıcılar tarafından yapıda buldukları süre boyunca taşınabilir (örn: giyilebilir ya da giysiye tutturulabilir) nitelikte de üretilmektedir [32]. Hava ve dolayısıyla içindeki kirleticiler, izleyici ya da örnekleyici aygıtların içine elektrikli pompalar aracılığıyla çekilebilir [22] ya da yayımın yoluyla kendiliğinden ulaşır [19].

Ölçüm eylemlerinin, ortamda kullanıcının soluma bölgesindeki iç hava kirleticilerinin yoğunluk düzeylerini belirlemek üzere [15] düzenlenmesi, ölçüm sonucunda elde edilecek verilerin, kullanıcının ortamda karşı karşıya kaldığı durumu doğru ve gerçekçi bir şekilde yansıtmaması [29] ve ölçümün uygun zaman – maliyet – işgücü koşullarında gerçekleştirilmesini [16] sağlayabilir. Bu amaçla EPA [5], Mølhøve [34], Viegı ve arkadaşları [8] gibi kurumlar ve araştırmacılar ölçüm eylemlerinin uygulanması öncesinde bir planlama yapılmasını ve izleme / örnekleme eylemlerinin süresine, ortamdaki konumuna ve tüm ölçüm eylemlerinin gerçekleştirileceği aygıtlara karar verilmesini önermiştir.

3.2. Ortam Havasındaki Kirletici Yoğunluklarının Hesaplanması

Belirli bir hacim oluşturan kapalı ortam içindeki hava kirleticilerinin yoğunluk düzeyleri, kirleticilere ve ortama ilişkin bazı özelliklerin sayısal değerleri kullanılarak matematiksel işlemlerle hesaplanabilmektedir. Bu işlemler, iç hava kirliliğiyle ilgili sistemler arasındaki etkileşimleri incelemek için kullanılan; kütle / momentin / enerjinin korunumu gibi fiziksel yasaları içeren kavramsal bir temele dayalı [16] matematiksel bir ya da bir dizi denklemden / algoritmadan oluşmaktadır [17].

Ortam havasındaki kirletici niceliğinin matematiksel işlemlerle belirlenmesi için

- kirletici kaynaklarının salınım miktarına,
- ortamın dış çevresindeki kirletici yoğunluğuna,
- kirleticilerin ortamın iç – dış çevresi arasında / iç çevresinde devinimine ve ortam hacmi içindeki dağılımına,
- kirleticilerle havadaki diğer kirleticiler ya da ortam yüzeyleri arasındaki etkileşimlere

ilişkin sayısal veriler, kütle korunumu ilkesini temel alan kütle denklığıne dayalı hesaplama yöntemlerinde [17, 20] kullanılmaktadır. Ortam hacmi içinde kirletici yoğunluğunun bölgesel olarak bağdaşık ya da bölgesel yoğunluk farklılıklarının göz ardı edilebilecek kadar küçük olduğu varsayılabilmesi durumunda, ortam bir bütün olarak kabul edilmekte ve tek bölgeli kütle denklığı modellerinden yararlanılmaktadır. Buna karşın, ortamda kirletici yoğunluğundaki bölgesel farklılıklar göz ardı edilemeyecek düzeyde olan bölgelerin bulunması söz konusu olduğunda, birimin birbirine komşu birden çok V hacimli ortamdan oluştuğu varsayılmakta ve çok bölgeli mikroçevre modelleri kullanılmaktadır [35]. Ayrıca V hacmindeki her bölge, alt bölgeli mikroçevre modelleriyle ele alınarak, daha küçük hacimli sanal alt bölgelere ayrılabilir ve kirletici yoğunluğunda gerçekleşen uzamsal değişimler daha ayrıntılı biçimde belirlenebilir [20].

Bilimsel yayınlarda, kirletici yoğunluğuna ilişkin hesaplama yöntemlerinin temel amaçları arasında, kirletici ölçümünün

- yapılamadığı durumlarda kirletici yoğunluklarını belirlemek [16],
- desteklenmesi, böylece ölçüm sayısının azaltılması [16],
- sonuçlarının yorumlanması ve benzer durumlara uyarlanması [22]

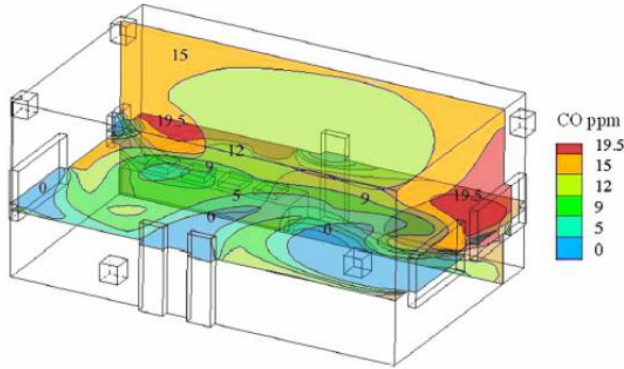
bulunduğu belirtilmiştir. Buna karşın, hesaplamının yapılabilmesi için gerekli kirletici ve ortam özelliklerinin sayısal değerlerinin ölçüm / hesaplama vb yoluyla belirlenmiş olması (örn: kirletici kaynağının salınım miktarı, havalandırma miktarı, hava sıcaklığı vb.) ya da uygulanan matematiksel hesabın geçerliliğinin, kirletici ölçümü yapılarak vb. doğrulanması gerekebilir [5].

3.3. Ortam Havasındaki Kirletici Yoğunluklarının Bilgisayar Benzetimiyle Belirlenmesi

Kirletici yoğunluğu bağdaşık olmayan ortamlarda, özellikle tek ya da çok bölgeli kütle dengliği modellerinin bölgesel yoğunluğu bağdaşık kabul etmesi nedeniyle, hesap sonuçlarının var olan durumu ayrıntılı ve gerçekçi yansıtamadığı belirtilmektedir [20]. Söz konusu sorun, bilgisayarlı akışkanlar dinamiği (CFD) tabanlı programlar kullanılarak

- ortamın bilgisayarda üç boyutlu modellenmesi,
- modellenen ortamın ayrıt boyutları 0,01 m – 1 m arasında değişebilen [20] sanal kübik hücrelerden oluşmuş, havanın ve kirleticilerin içine girip çıktığı [6] belirli sayıda alt bölgeye ayrılması,
- her alt bölgede, kütle, enerjinin ve momentin korunumu ilkesi uyarınca, bölge içindeki havaya, dolayısıyla kirleticilere, ilişkin özelliklerin komşu bölgelerdeki özelliklere bağlı olarak [6] eşzamanlı matematiksel denklemlerle belirlenmesi [36]

ve ortamdaki her noktada ortaya çıkan yoğunluk düzeylerinin (Şekil 2) zamana bağlı değişiminin elde edilmesiyle çözülmektedir [26].



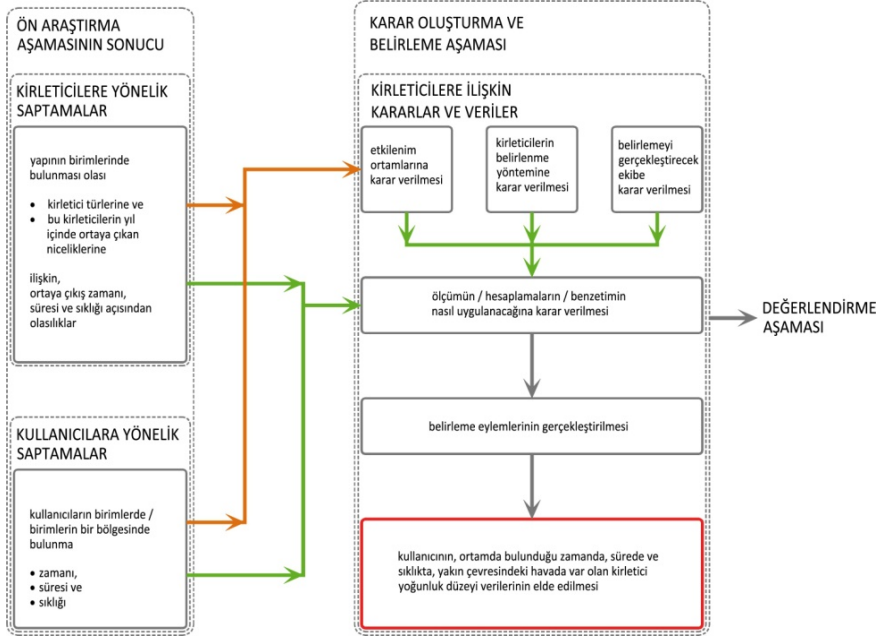
Şekil 2. CFD programlarıyla modellenmiş bir mutfakta CO düzeyinin dağılımı [37]

Ortamda burgaçlı hava devinimlerinin var olması, kirletici yoğunluklarının gerçekçi bir şekilde modellenmesini zorlaştırmaktadır. Bu sorun, yanlış sonuçların en büyük nedenlerinden birisidir [7]. Burgaçlı devinimin tümüyle gerçekçi bir şekilde modellenmesi, ortamdaki sanal hücre, dolayısıyla eşzamanlı çözülmesi gereken denklem sayısının artırılmasını, söz konusu durum ise, donanımsal açıdan yüksek gelişmişlik düzeyindeki bilgisayarların kullanılmasını [6] gerektirmektedir. Ayrıca benzetim programlarına, ortam yüzeylerinde gerçekleşen tutulmalara ve tepkimelere ilişkin sayısal veriler de eklenerek, söz konusu özelliklerin etkileri sonucunda ortamda gerçekleşen kirletici yoğunlukları ortaya konabilmektedir.

4. ORTAM HAVASINDAKİ KİRLETİCİ YOĞUNLUKLARININ BELİRLENMESİ SÜRECİNE YÖNELİK BİR YAKLAŞIM

Kullanıcıyı etkileyen iç hava kirleticilerinin, ortamların havasında, kullanıcının ortamda bulunduğu zamanda, sürede, sıklıkta ve soluma bölgesinde ortaya çıkan yoğunluk düzeylerinin belirlenmesi, belirleme sürecinin uygun zaman – maliyet – işgücü koşullarında gerçekleştirilebilmesi ve var olan durumu doğru yansıtacak gerçekçi verilerle sonuçlanması, belirleme eylemleri öncesinde bu eylemlerin, uygun bir yaklaşım kapsamında, yapıda hangi ortamlarda, hangi yöntemlerle, kimler tarafından ve hangi adımlarla gerçekleştirileceğine yönelik

kararların oluşturulmasıyla olasıdır (Şekil 3). Söz konusu kararlar, yapıda iç hava kirliliğinden etkilenimin ortaya çıkmasına neden olan kirleticilere, ortamlara ve kullanıcılara ilişkin gerekli verilerin toplandığı ve toplanan verilerin değerlendirilerek bazı saptamaların yapıldığı bir ön araştırma sürecinin sonunda verilebilir. Bu saptamalarla, yapının kapalı birimlerinde bulunduğu düşünülen / bilinen iç hava kirleticilerinin ve kirleticilerin yıl içinde birimlerin havasında ortaya çıkan niceliklerinin zamanlamasına, süresine, oluşma sıklığına ilişkin olasılıklar ve kullanıcıların yapıdaki birimlerde bulunma zamanı, süresi, sıklığına ilişkin veriler elde edilmektedir.



Şekil 3. Ortam havasındaki kirletici yoğunluklarının belirlenmesi

Yapı içi hava kirleticilerinin yoğunluk düzeylerinin belirlenmesi sürecinde öncelikle, ön araştırmayla elde edilen kirleticilere ve kullanıcılara yönelik saptamalara göre, yapıdaki hangi birimlerin / birim bölgelerinin kirleticileri ve kullanıcıları bir araya getirerek etkilenim ortamı oluşturduğuna karar verilmesi gerekli görülmektedir. Kirleticileri yıl içinde düşük yoğunluk düzeyinde barındırdığı düşünülen ya da kullanıcıların çok kısa süre bulunduğu saptanmış birimlerde, yapı içi hava kirliliğinden etkilenimin gerçekleşmediği, dolayısıyla, herhangi bir belirleme eyleminin ya da değerlendirmenin yapılmasına gerek olmadığı düşünülebilir.

Ortamların belirlenmesinin ardından, yapıda kirleticilerle kullanıcıları bir araya getiren bu etkilenim ortamlarında kirletici yoğunluklarının hangi yöntemle / yöntemlerle belirleneceğine karar verilmektedir. Gerçekleştirilen araştırmanın amacına ve kapsamına uygun belirleme yöntemine / yöntemlerine,

- ön araştırma aşamasında elde edilen kirletici – ortam – kullanıcı verileri ile belirleme yöntemlerinin veri gereksinimleri karşılaştırılarak,
- araştırmanın zaman – maliyet – işgücü olanakları göz önüne alınarak,
- araştırmada gereksinilen yoğunluk düzeyleri verilerinin niteliğiyle, belirleme eylemlerinin uygulanması sonucunda elde edilecek verilerin niteliği arasındaki uyum denetlenerek

karar verilebileceği düşünülmektedir. Söz konusu kararın oluşturulmasında Çizelge 2, Çizelge 3 ve Çizelge 4'ten yararlanılabilir. Çizelge 2'de görüldüğü gibi, yoğunluk düzeylerinin ölçüm yapılmaksızın belirlenebilmesi için, öncelikle, ortam havasında hangi kirleticilerin bulunduğu bilinmesi ve hesaplama – benzetim yöntemleri kapsamındaki belirleme eylemlerinin gereksindiği kirleticiler – ortam verilerinin elde edilmiş olması gereklidir. Ayrıca, bu yöntemler, çoğunlukla ortamdaki kirleticiler yoğunluğunun bağdaşık, kullanıcıların devinimsiz ve hava deviniminin burgaşsız olduğu durumlarda kullanılabilir. Buna karşın Çizelge 4'te, bu yöntemlerle elde edilen kirleticiler verilerinin, çoğunlukla ortalama yoğunluk düzeyleri olduğu ve karşılaşılan durumu doğru yansıtmayabileceği görülmektedir.

Çizelge 2. Belirleme yöntemlerinin veri gereksinimleri

gereksinimler	ölçüm	hesaplama	benzetim
ortam havasında bulunan kirleticiler türleri		X	X
ortamın hacmi		X	X
ortamın dış çevresindeki kirleticiler yoğunluğu		X	X
ortamdaki havalandırma ve hava sızması miktarları		X	X
ortamdaki kirleticiler kaynaklarının salınım miktarları		X	X
yüzeylerdeki tutulmalara ilişkin sayısal veriler		X	X
kirleticiler arasındaki tepkimelere ilişkin veriler		X	X
ortamdaki havanın sıcaklığı ve bağıl nem oranı		X	X
kirleticilere ve kullanıcılara ilişkin saptamalar	X		
...			

Belirtilen özellikler nedeniyle, birçok durumda, ortam havasındaki kirleticiler yoğunluklarının, ölçümle belirlenmesinin ve zaman – maliyet – işgücü açısından ortaya çıkan olumsuzlukların azaltılması amacıyla, ölçümün hesaplamalarla ya da bilgisayar benzetimiyle desteklenmesinin akılcı olduğu söylenebilir.

Çizelge 3. Belirleme yöntemlerinin zaman-maliyet-işgücü gereksinimleri

gereksinimler	ölçüm	hesaplama	benzetim
belirleme eylemleri için gereken süre	uzun	kısa	kısa
belirleme eylemlerinin gerçekleştirilmesi için gerekli maliyet	yüksek	düşük	yüksek
belirleme eylemlerinin aygıt gereksinimi	ölçüm aygıtları	-	bilgisayar ve benzetim programları
belirleme eylemlerinin mekân gereksinimi	laboratuvar	-	-
belirleme eylemlerinin gerçekleştirilmesi için gerekli uzman sayısı	yüksek	düşük	düşük
belirleme eylemleri için gerekli deneyimin düzeyi	yüksek	düşük	yüksek
diğer gereksinimler	uygun sıcaklık, nem, akustik vb koşulların sağlanması, bazı durumlarda kullanıcıların aygıt taşınması vb	-	-
...			

Uygun yöntemin / yöntemlerin seçilmesinden sonra, ilgili eylem adımlarının nasıl uygulanacağına karar verilmesinin ve uygulamanın planlanmasının, yoğunluk düzeyi verilerinin niteliği açısından önemli olduğu düşünülmektedir. Söz konusu kararların, seçilen yöntemi / yöntemleri gerçekleştirecek ekip tarafından oluşturulması, uygulama kolaylığı açısından yarar sağlayabilir. Bu nedenle, belirleme eylemlerinin planlanması öncesinde, belirlemeyi gerçekleştirecek ekibin oluşturulması gerekli görülmüştür. Böylece, ilgili ekip, yoğunluk düzeylerinin ölçüm yoluyla belirlenmesinde, hangi aygıtların kullanılacağına, ön araştırma aşamasında elde edilen kirleticilere yönelik saptamalar; ortamlarda gerçekleştirilecek ölçümün ya da örnekleme konumuna, zamanına, süresine ve yinelenme sıklığına ise, kirleticilere ve kullanıcılara yönelik saptamalar birleştirilerek ortamda etkilenimin gerçekleştiği konum, zaman, süre ve sıklık uyarınca karar verebilir. Kirletici yoğunluklarının hesaplamaya ya da benzetimle gerçekleştirilmesinde ya da ölçümün bu yöntemlerle desteklenmesinde, yine ilgili ekip tarafından, ön araştırmada elde edilen kirleticilere yönelik saptamalara göre, uygun hesaplama yöntemleri ya da bilgisayarlı akışkanlar dinamiği programları seçilebilir.

Çizelge 4. Belirleme yöntemleriyle elde edilen verilerin niteliği

ölçüm	<p>Ortamda gerçekleştirilen ölçüm sonucunda, ölçüm aygıtlarının yakın çevresindeki havada, aygıtın çalışma süresinde ortaya çıkan kirletici yoğunluklarının anlık değerleri elde edilmektedir. Dolayısıyla, o sürede gerçekleşen en yüksek, en düşük ve ortalama kirletici yoğunlukları belirlenebilir.</p> <p>Laboratuarda gerçekleştirilen ölçüm sonucunda, ortamdaki örnekleme süresinde örnekleme süresinde örnekleyicinin yakın çevresindeki havada ortaya çıkan ortalama yoğunluk düzeyleri elde edilmektedir.</p> <p>Ölçüm sonuçları, teknik sorunlar olmaması durumunda, büyük çoğunlukla gerçek durumu doğru yansıtmaktadır.</p>
hesaplama	<p>Çoğunlukla ortamdaki ortalama kirletici yoğunlukları elde edilmektedir.</p> <p>Sonuçlar gerçek durumu doğru yansıtmayabilir.</p>
benzetim	<p>Ortamın farklı bölgelerinde zaman içinde sıcaklık, havalandırma, tutulma vb özelliklerin değişmesiyle farklılaşabilen kirletici yoğunlukları ayrıntılı bir şekilde elde edilmektedir.</p> <p>Sonuçlar gerçek durumu doğru yansıtmayabilir.</p>

5. SONUÇ VE ÖNERİLER

Kullanıcısının yaşamını sağlıklı bir şekilde sürdürmesi amacıyla tasarlanan ve üretilen yapıların kapalı birimlerinde ortaya çıkan yapı içi hava kirliliği, kullanıcı konforunu ve sağlığını olumsuz etkileyerek önemli sorunların oluşmasına neden olabilir. Söz konusu olumsuzluğun giderilmesi ya da önlenmesi için öncelikle var olan durumun değerlendirilmesi gerekli görülmektedir. Bilimsel çalışmalarda, sorunların oluşma riskinin, ortam ve kullanıcı özelliklerinin yanı sıra, çoğunlukla kullanıcının karşı karşıya kaldığı kirleticilerin niceliğiyle ilişkilendirilmesi, ortam havasındaki kirletici yoğunluklarının belirlenmesini, gereksinilen değerlendirmenin doğru bir şekilde yapılması açısından önemli adımlardan birisi durumuna getirmektedir.

Var olan belirleme yöntemlerinin birbirine göre farklı nitelikte oluşu, uygulanmaları için farklı verilere / koşullara gereksinim doğurması ve farklı nitelikte yoğunluk verileriyle sonuçlanması nedeniyle, belirleme süreci, gereksinilen değerlendirmeyi etkileyerek, araştırmada zaman-maliyet-işgücü yitikleri ya da yapıda var olan durumu doğru yansıtmayan yoğunluk

düzeıı verilerini ortaya çıkarabilir. Bu durum, belirleme eylemleri öncesinde, sürecin, uygun bir yaklaşım doğrultusunda planlanarak, bazı kararların alınmasını gerektirmektedir. Söz konusu kararlar, araştırmanın gerçekleştirildiği yapıda, iç hava kirliliğinden etkilenimi ortaya çıkaran iç hava kirleticilerine /etkileyene/, kullanıcılara /etkilenene/ ve yapının kapalı birimlerine /etkilenim ortamına/ ilişkin gerekli verilerin toplandığı, bu verilerin değerlendirilerek, ortamlardaki kirleticilere ve kullanıcılara yönelik saptamaların yapıldığı bir ön araştırma süreci sonunda, elde edilen saptamalar uyarınca verilebilir. Böylece, belirleme süreci öncesinde, belirleme eylemlerinin gerçekleştirileceği ortamlara, araştırmanın niteliğine uygun belirleme yöntemlerine, eylemleri gerçekleştirecek uzmanlara, aygıtlara, diğer donanımlara ve eylemlerin nasıl uygulanacağına karar verilebilir.

Kirlenici yoğunluklarının belirlenmesi yaklaşımının doğru bir Şekilde uygulanabilmesi için, yapı, yapının vrenleri ve yapının kullanımını belirleyen düzenlemeler konusunda uzman olan mimar, yaklaşım kapsamındaki eylem adımlarını yönetici ve özellikle kararların oluşturulmasında nc konumundadır. Yaklaşımın çeşitli araştırmalar kapsamında kullanılması, olumlu ve olumsuz yönlerinin ortaya çıkarılması açısından önemlidir. Ayrıca, özellikle, havada kirlenimler ve ortam yzeııleri ile kirlenimler arasında gerçekleşen etkileşimler konularında, ilgili uzmanlar tarafından bilimsel çalışmaların gerçekleştirilmesi, söz konusu bilgilerin kapsamının genişletilmesi ve bilgi düzeyinin artırılması gereksinimi nedeniyle önerilmektedir. Bundan sonra yapılacak çalışmalarda, yaklaşım kapsamında ilgili kararların dayandırıldığı saptamaların nasıl retilabileceğinin ayrıntılandırılmasına ve yaklaşım sonucunda elde edilen ortam havasındaki kirlenici yoğunluk düzeyi verilerinden, yapı içi hava kirliliğinin kullanıcı sağlığı açısından değerlendirilmesinde nasıl yararlanılabileceği konularında araştırmalara gereksinim duyulmaktadır.

REFERENCES / KAYNAKLAR

- [1] Vural, S. M., Yapı İçi Hava Niteliği Risk Süreci Modeli Belirlenmesi, Yayınlanmamış Doktora Tezi, YTÜ, FBE, İstanbul, 2004.
- [2] Billionnet, C., Sherrill, C., Annesi-Maesano, I., “Estimating the Health Effects of Exposure to Multi-Pollutant Mixture”, *Annals of Epidemiology*, 22, 2: 126 – 141, 2012.
- [3] Salthammer, T., “Critical Evaluation of Approaches in Setting Indoor Air Quality Guidelines and Reference Values”, *Chemosphere*, 82: 1507-1517, 2011.
- [4] Balanlı, A., “Building Biology and Examination Models for Buildings”, Chapter 7, ed: Abdul-Wahab, S. A., *Sick Building Syndrome in Public Buildings and Workplaces*, Springer, Berlin, 113-134, 2011.
- [5] EPA, Guidelines for Exposure Assessment, EPA/600/Z-92/001, Risk Assessment Forum, Washington DC, 1992.
- [6] Spengler, J. D., Chen, Q., ve Dilwali, K. M., “Indoor Air Quality Factors in Designing a Healthy Building, Chapter 5, eds: Spengler, J. D., Samet, J. M., McCarthy, J. F., *Indoor Air Quality Handbook*, McGraw-Hill, New York, 5.1-5.29, 2001.
- [7] Chen, Q., ve Glicksman, L., “Application of Computational Fluid Dynamics for Indoor Air Quality Studies”, Chapter 59, eds: Spengler, J. D., Samet, J. M., McCarthy, J. F., *Indoor Air Quality Handbook*, McGraw-Hill, New York, 1339-1360, 2001.
- [8] Viegi, G., Simoni, M., Scognamiglio, A., vd., “Indoor Air Pollution and Airway Disease”, *The International Journal of Tuberculosis and Lung Disease*, 8, 12: 1401-1415, 2004.
- [9] Asadi, E., Gameiro da Silva, M. C. ve Costa, J. J., “A Systematic Indoor Air Quality Audit Approach for Public Buildings”, *Environmental Monitoring and Assessment*, 185, 1: 865 – 875, 2013.

- [10] Klinmalee, A., Srimngkol, K. ve Oanh, N. T. K., “Indoor Air Pollution Levels in Public Buildings in Thailand and Exposure Assessment”, *Environmental Monitoring and Assessment*, 159: 581-594, 2009.
- [11] The Government of Hong Kong Special Administrative Region, Indoor Air Quality Management Group, *A Guide on Indoor Air Quality Certification Scheme for Offices and Public Places*, Kowloon, 2003.
- [12] Miller, S. L., Scaramella, P. ve Campe, J., vd., “An Assessment of Indoor Air Quality in Recent Mexican Immigrant Housing in Commerce City, Colorado”, *Atmospheric Environment*, 43: 5661-5667, 2009.
- [13] Kulshreshtha, P., Khare, M. ve Seetharaman, P., “Indoor Air Quality Assessment in and around Urban Slums of Delhi City, India”, *Indoor Air*, 18, 6: 488-498, 2008.
- [14] Mengersen, K., Morawska, L., Wang, H., vd., “Association between Indoor Air Pollution Measurements and Respiratory Health in Women and Children in LaoPDR”, *Indoor Air*, 21: 25-35, 2011.
- [15] Ott, W. R., “Exposure Analysis: A Receptor – Oriented Science”, Chapter 1, eds: Ott, W. R., Steinemann, A. C., Wallace, L. A., *Exposure Analysis*, CRC Press Taylor & Francis Group, Boca Raton, 2007.
- [16] NRC, *Human Exposure Assessment for Airborne Pollutants*, National Academy Press, Washington DC, 1991.
- [17] Koontz, M. D., Evans, W. C. ve Wilkes, C. R., *Development of a Model for Assessing Indoor Exposure to Air Pollutants*, Final Report, A933-157, California Air Resources Board Research Division, Sacramento, 1998.
- [18] Balanlı, A., ve Tuna Taygun, G., “Yapı Biyolojisi ve Asbest”, *Mimar.İst*, 16: 107-110, 2005.
- [19] CEC, *Guidelines for Ventilation Requirements in Buildings*, European Collaborative Action Indoor Air Quality & Its Impact on Man, Report No: 11EUR14449EN, Luxembourg, 1992.
- [20] Milner, J., Vardoulakis, S., Chalabi, Z. ve Wilkinson, P., “Modelling Inhalation Exposure to Combustion-Related Air Pollutants in Residential Buildings: Application to Health Impact Assessment”, *Environment International*, 37: 268-279, 2011.
- [21] Kefalopoulos, S., Koistinen, K.; Kotzias, D., *Strategies to Determine and Control the Contributions of Indoor Air Pollution to Total Inhalation Exposure (STRATEX)* European Collaborative Action, Urban Air, Indoor Environment and Human Exposure, Environment and Quality of Life Report No: 25 – EUR 22503 EN, European Commission, Directorate Joint Research Center, Luxembourg, 2006.
- [22] Patrick, D., “Exposure Characterization”, Chapter 4; eds: Anderson, E. L. ve Albert, R. E., *Risk Assessment and Indoor Air Quality*, CRC Press Lewis Publishers, Boca Raton, 1999.
- [23] Weschler, C. J., ve Shields, H. C., “Potential Reactions among Indoor Pollutants”, *Atmospheric Environment*, 31: 3487-3495, 1997.
- [24] Jantunen, M., “Health Risk of Indoor Air Fine Particulate Matter”, 69-78; Derleyen: Commission of the European Communities, *Risk Assessment in Relation to Indoor Air Quality*, European Collaborative Action on Urban Air, Indoor Environment and Human Exposure, Report No: 22, EUR 19529 EN, Office for Official Publications of the European Communities, Luxembourg, 2000.
- [25] Repace, J. L., “Exposure to Secondhand Smoke”, Chapter 9, 201-235; eds: Ott, W. R., Steinemann, A. C. ve Wallace, L. A., *Exposure Analysis*, CRC Press Taylor & Francis Group, Boca Raton, 2007.
- [26] Demokritou, P., “Modelling IAQ and Building Dynamics”, 57.1-57.11, Chapter 57, eds: Spengler, J. d., Samet, J. M. ve McCarthy, J. F., *Indoor Air Quality Handbook*, McGraw-Hill, New York, 2001.

- [27] Salthammer, T. ve Bahadir, M., “Occurrence, Dynamics and Reactions of Organic Pollutants in the Indoor Environment”, *Clean – Soil, Air, Water*, 37(6): 417-435, 2009.
- [28] Maroni, M., “Health Effects of Indoor Air Pollutants and Their Mitigation and Control”, *Radiation Protection Dosimetry*, 78(1): 27 – 32, 1998.
- [29] Bernstein, J. A., Alexis, N., Bacchus, H., vd., “The Health Effects of Nonindustrial Indoor Air Pollution”, *Journal of Allergy and Clinical Immunology*, 121(3): 585-591, 2008.
- [30] Farrás, R. ve Gracia, M., “Measuring and Assessing Chemical Pollutants”, *Indoor Air Quality*, Chapter 44, eds: Xavier, G. S., *Encyclopedia of Occupational Health and Safety*, International Labor Organization, Geneva, 2011.
- [31] Patnaik, P., “Air Analysis”, 121 – 131, Chapter 1.12, *Handbook of Environmental Analysis – Chemical Pollutants in Air, Water, Soil and Solid Wastes*, CRC Press, Lewis Publishers, Boca Raton, 1997.
- [32] Hedge, A., “Indoor Air Quality: Chemical Exposures”, 64.1 – 64.11, Chapter 64, eds: Stanton, N., Hedge, A., Brookhuis, K., Salas, E., Hendrick, H., *Handbook of Human Factors and Ergonomics Methods*, CRC Press, Boca Raton, 2005.
- [33] Barro, R., Regueiro, J., Llompert, M. ve Garcia – Jares, C., “Analysis of Industrial Contaminants in Indoor Air: Part I. Volatile Organic Compounds, Carbonyl Compounds, Polycyclic Aromatic Hydrocarbons and Polychlorinated Biphenyls”, *Journal of Chromatography A*, 1216, 3: 540-566, 2009.
- [34] Mølhave, L., “Principles for Evaluation of Health and Comfort Hazards Caused by Indoor Air Pollution”, *Indoor Air*, Suppl. 4: 17-25, 1998.
- [35] Ng, L. C., Musser, A., Perisly, A. K. ve Emmerich, S. J., “Indoor Air Quality Analysis of Commercial Reference Buildings”, *Building and Environment*, 58: 179-187, 2012.
- [36] Nielsen, P. V., “Computational Fluid Dynamics and Room Air Movement”, *Indoor Air*, 14: 134-143, 2004.
- [37] Guha, A., “Computation of Indoor Air Quality”, http://www.facweb.iitkgp.ernet.in/~aguha/research/Dr_A_Guha.html, [Erişim Tarihi; 21 Temmuz 2014].