

ÜRÜN TASARIMINDA ÜRETİM YÖNTEMLERİ VE MEKAN SORUNLARI



Editör
AYDIN ŞIK



BİDGE Yayınları

**ÜRÜN TASARIMINDA ÜRETİM YÖNTEMLERİ VE
MEKAN SORUNLARI**

Editör: AYDIN ŞIK

ISBN: 978-625-372-685-0

1. Baskı

Sayfa Düzeni: Gözde YÜCEL

Yayınlama Tarihi: 2025-06-25

BİDGE Yayınları

Bu eserin bütün hakları saklıdır. Kaynak gösterilerek tanıtım için yapılacak kısa alıntılar dışında yayıncının ve editörün yazılı izni olmaksızın hiçbir yolla çoğaltılamaz.

Sertifika No: 71374

Yayın hakları © BİDGE Yayınları

www.bidgeyayinlari.com.tr - bidgeyayinlari@gmail.com

Krc Bilişim Ticaret ve Organizasyon Ltd. Şti.

Güzeltepe Mahallesi Abidin Daver Sokak Sefer Apartmanı No: 7/9 Çankaya /
Ankara



ÖNSÖZ

Endüstri ürünleri tasarlanıp ve üretilirken, bir tasarımcı için görsel performans ve güvenlikten ruh hali ve üretkenliğe kadar her şeyi etkileyen birçok ortam da kritik öneme sahiptir.

Tasarım ve üretim mekânının tamamen işlevsel bir unsurundan, üretkenliği, güvenliği ve genel refahı artıran bir ortama uygun olmalıdır. Endüstriyel teknoloji ve tasarım uygulamaları alanında geçmişte yapılan tasarım ve üretim yöntemleri ile gelecekteki araştırma ve geliştirme çalışmaları (simülasyonlar) göz önünde bulundurularak ürün tasarımı ve imalatında farklı disiplinlerin bir araya gelmesi ile bu kitap bölümü hazırlanmıştır.

Prof. Dr. Aydın ŞIK
Gazi Üniversitesi Mimarlık Fakültesi
Endüstriyel Tasarım Bölümü

İÇİNDEKİLER

FERFORJEDE DÖVME DEMİR KULLANIMI	1
<i>AYDIN ŞIK, NECMETTİN ERDEM OKÇU</i>	
SES VE GÜRÜLTÜ: TEMEL İLKELER VE DEĞERLENDİRME YÖNTEMLERİ	30
<i>ALİ İŞERİ</i>	
ENDÜSTRİYEL TASARIMDA MİMARİ MODELLEMENİN ÖNEMİ	48
<i>FATİH AYKURT</i>	
UNDERSTANDING LIGHT AND ILLUMINATION: KEY PRINCIPLES	72
<i>ALİ İŞERİ</i>	

BÖLÜM 1

FERFORJEDE DÖVME DEMİR KULLANIMI

AYDIN ŞIK¹

NECMETTİN ERDEM OKÇU²

Giriş

Metalik element demir (Fe), Latince'de ferrum olarak adlandırılır, dolayısıyla demir ve çelik için demirli metal terimi kullanılır. Demir cevherleri Dünya yüzeyinin yaklaşık yirmide birini oluşturur. Yüzyıllar boyunca birçok medeniyet tarafından bilinmiş ve kullanılmıştır. Demirin rolü, aletler, ocaklar, tencereler ve su ısıtıcıları, vagon jantları, çiviler, toplar ve mimari yapı bileşenine kadar genişlemiştir. Dökme demir, dövme demir ve son zamanlarda çelik olmak üzere üç yaygın biçimde kullanılmış ve kullanılmaktadır. Yaklaşık on beşinci yüzyıla kadar, üretilen tüm demir dövme demirdi. Demir üretiminin ilk günlerinde, sürecin yanlış yönetimi dökme demir üretilmesine neden oldu ve bu tür demirin hiçbir kullanım alanı yoktu ve onu dövme demire dönüştürmenin bir yolu da bilinmiyordu. Sonunda dökme demiri

¹ Prof. Dr., Gazi Üniversitesi Mimarlık Fakültesi, Endüstriyel Tasarım Bölümü, Ankara ORCID NO: 0000-0002-8977-9094, aydins@gazi.edu.tr

² Fatih Profil Sanayi ve Ticaret A.Ş., Fatih Ferforje Tasarım Merkezi, Denizli ORCID NO: 0009-0001-3669-5057, erdemokcu@outlook.com

kullanmanın ve onu dövme demire ardından da çeliğe dönüştürmenin yolları bulunacaktı. Modern demir üretiminde, dünyanın cevherden elde edilen demir üretiminin çoğu neredeyse tamamen önce dökme demire, ardından da dövme demire veya çeliğe dönüştürülmektedir (Gale, 1967).

Ham madde olan dövme demire olan talep, 1860'larda demir zırhlı savaş gemilerinin popüleritesi artarken ve demiryollarının üretimi Amerika Birleşik Devletleri'ne yayıldıkça zirveye ulaştı. Demir daha yaygın hale geldikçe, pişirme kapları, sobalar, ızgaralar, kilitler, donanımlar ve diğer ev eşyaları için yaygın olarak kullanılmaya başlandı.

Ham madde dövme demirin popüleritesi ve kullanımı, yumuşak çeliğin artan bulunabilirliğiyle azaldı. Düşük karbon içeriğine sahip olan yumuşak çelik, dövme demirin birçok özelliğini içerir. Yumuşak çelik daha ucuz ve seri üretimi daha kolay olduğu için ham madde dövme demir yavaş yavaş ortadan kalktı ve son demir fabrikası da 1970'lerde üretimi durdurdu. Dövme demir artık ticari ölçekte üretilmiyor, ancak tarihi demir işlerinin kopyalanması, restorasyonu ve korunması için hala üretilmektedir. Bugün dövme demir olarak tanımlanan birçok ürün aslında yumuşak çelikten yapılmıştır. Korkuluklar, kapılar, mobilyalar, aydınlatma ve diğer süs işleri gibi ürünler yumuşak çelikten üretilir. Günümüzde, çekiç ve örsle ham çeliği elle işleme sanatı, kaliteli el yapımı ferforje ev aksesuarları ve mobilyalarına olan artan talepte bir sanat olmaya devam ediyor. Ferforje dekor, yumuşak çelik gibi daha yeni ve daha güçlü ham madde formlarından dövülüp şekillendirilse de, bu emek yoğun zanaatın güzelliği ve detayları hala takdir edilebilmektedir. Bu zamansız gelenek, çeşitli dövme demir uzman atölyelerinde ve yerel demirci dükkânlarında bulunan çok sayıda üründe yaşamaya devam ediyor. Demir elementi ve stili çok evrensel olduğundan, dövme demir mobilya ve demir dekor neredeyse her evde, kulübede veya ticari kuruluşta bulunabilir. Miras kalitesinde dövme demir

dekor ve demir mobilyalar, iç dekor ve mobilyaların miras kalitesinde olduğu ve nesiller boyu dayanması amaçlanan Timeless Wrought Iron gibi mağazalarda bulunabilir. Dövme demir, binlerce yıldır insanların zevklerini ve ihtiyaçlarını karşılamıştır ve önümüzdeki yıllarda da büyük değer taşımaya devam edecektir (<https://www.mrwroughtiron.co.uk>, 2025).

Şekil 1. Dövme demirin işlendiği demirci ocağı



Dövme demir, dövülebilirliği ve sertliği nedeniyle binlerce yıldır rağbet görmektedir. Antik çağlarda, demirciler yerel doktorlar kadar önemli kabul edilirdi. Çünkü doktor insanları sağlıklı tutarken, demirci de kasabayı hareket halinde tutardı. Birçok insan için demircinin görünüşte kaba ve sert bir malzemeyi nefes kesici bir güzelliğe dönüştürme yeteneği büyüydü.

Şekil 2. Dövme demirin üretildiği Bloomerie fırını



Demirin ilk üretim yöntemlerinden biri bloomeries kullanımıydı. Şekil 2.'de görüldüğü gibi Bloomerie, çukur ve bacası olan bir tür fırındır ve ısıya dayanıklılık için taş veya kil duvarlara sahiptir. Çukurun dibine yakın bir yerden kil borular girerek doğal kaynaktan veya körük olarak bilinen bir tür hava pompası kullanılarak hava akışına izin verirdi. Bloomerie kömür ve demir cevheri ile doldurulduğunda yakılır ve borulardan hava geçirilerek ateş yakılır ve karışım demir için erime noktasının hemen altına ısıtılırdı. Bu, kirliliklerin erimesini ve akıp gitmesini sağlarken kömürden gelen karbonmonoksit cevheri süngerimsi bir kütle halinde demire indirgerdi. Bu malzeme daha sonra çekiçlerle dövülür ve bu işlem sırasında kirlilikler giderilirdi.

Kömür ocağında kızdırılan demir, örste çekiçe döverek şekil veren eski demirci ustaları, zamanla işi ilerleterek bunu bir sanata dönüştürmüşler. Demirin ateşle dansından ferforje sanatı doğmuştur.

Şekil 3. Dövme demirin ferforjede kullanılması



Ferforje, eski uygarlıklara kadar uzanan uzun ve büyüleyici bir tarihe sahiptir. İngilizce “Wrought” “Dövlümüş” terimi, “çalışmak” fiilinin geçmiş zaman kipinden gelir ve demirin çekiç ve örs kullanılarak elle şekillendirilmesi sürecini ifade eder. Bilinen en eski ferforje üretimi, M.Ö. 1500 civarında eski Mısır’daydı. Demir, demir cevherinden çıkarıldı ve daha sonra safsızlıkları gideren ve demiri güçlendiren kömürle bir fırında ısıtıldı. Ortaya çıkan metal daha sonra aletler, silahlar ve dekoratif nesneler oluşturmak için elle işlendi. Ferforje, silah, zırh ve alet yapımında kullanıldığı eski Yunanistan ve Roma’da da yaygın olarak kullanılıyordu. Romalılar özellikle demirle çalışma konusunda yetenekliydi ve demir işleri antik dünyada büyük saygı görüyordu. Orta Çağ boyunca, ferforje bir yapı malzemesi olarak daha da önemli hale geldi. Çitler ve kapılardan kiliseler ve kalelerdeki dekoratif öğelere kadar her şeyi yaratmak için kullanıldı. Demir, yetenekli demirciler tarafından genellikle parşömenler ve çiçek motifleri gibi karmaşık tasarımlarla şekillendirildi (Şekil 3). 18. ve 19. yüzyıllarda ferforje, mobilya ve

ev dekorasyonu için popüler bir malzeme haline geldi. Sanayi Devrimi, seri üretim demir için yeni teknikler getirdi ve orta sınıfın yükselişi, daha fazla insanın evlerini ferforje mobilyalarla dekore edebileceği anlamına geliyordu. Günümüzde, pek çok endüstriyel ve yapısal uygulamada büyük ölçüde dövme demirin çeliğin yerini almasına rağmen, dövme demir hala çeşitli uygulamalarda kullanılmaktadır. Bununla birlikte, benzersiz özellikleri ve dekoratif çekiciliği, onu kapılar, korkuluklar ve balkonlar gibi süs demir işleri için popüler bir seçim haline getirmeye devam ediyor. Ferforje Anadolu yarımadasında (şimdiki Türkiye) M.Ö. 2000 gibi erken bir tarihte ve 19. yüzyıl boyunca inşaatta yaygın olarak kullanıldı. Bununla birlikte, 20. yüzyılda metalürjideki gelişmeler, metal parçaları makineyle şekillendirmeyi ve kaynaklamayı daha kolay ve daha ucuz hale getirdi. Demirciliğin nispeten pahalı ve zaman alıcı doğası, 1970'lerin ortalarında büyük ölçekli ticari uygulamasının sona ermesine yol açtı. Bu, günümüzde gerçek ferforje dövme demir parçalarının çoğunun ya antikalar ya da yerel zanaatkarlar tarafından işlenmiş özel parçalar olduğu anlamına gelir (<https://www.metal20.com.tr>, 2025).

Metal süsleme sanatı (ferforje), geleneksel ve çağdaş mimaride yapı süsleme elemanları veya eşya olarak yer almaktadır. Ferforje, yapısal ve estetik fonksiyonu olan sanattır. Yapısal fonksiyonu, koruma, aydınlatma ve kullanım eşyalarında görülebilir. Kapı, pencere, korkuluk ve avlu gibi elemanlar koruma amaçlıdır. Avize, fener ve lamba gibi eşyalar aydınlatma fonksiyonu olan eşyalardır. Kameliye, sandalye, masa, bank, yatak gibi eşyalar da kullanım fonksiyonuna sahip eşyalardır. Ferforje sanatında estetik fonksiyon, süsleme amaçlı olan eşyaların yanı sıra yapısal fonksiyonlu eşyalarda da görülmektedir. Birçok simgesel öğeli eşyalar sadece süs amacı taşımaktadır. Örneğin yapısal fonksiyonu dışında estetik fonksiyonu olan bir merdiven korkuluğu, koruyucu fonksiyonu dışında güzel duygular da uyandırmaktadır. Metal

süsleme sanatının estetik fonksiyonu, plastik ve stilistik örge ve öğelerin estetik etkisine bağlıdır. Ferforje, mimari eleman olarak bazı teknik farklılıklarla dış ve iç mekânlarda kullanılmaktadır. Dış mekânlarda bahçe avlusu, bina ve avlu kapısı, pencere, balkon, merdiven korkuluğu yapı elemanları, fiske ve oturma takımları olarak kullanılmaktadır (MEB, 2012).

Dövme Demirin Tarihçesi

Anadolu yarımadasında (şimdi Türkiye olan bir bölge) M.Ö. 2000 yılı kadar erken bir tarihte dövme demirin kullanıldığına dair kanıtlar bulunmaktadır. Özellikle 19. yüzyıl boyunca inşaatta yaygın olarak kullanılmış ve at nallarından demiryollarına kadar her şeyde bulunabiliyordu. Çeliği ticari olarak daha uygulanabilir bir yapı malzemesi haline getirecek tekniklerin geliştirilmesinden önce, dövme demir dövülebilir demirin en yaygın biçimiydi. Ancak, büyük ölçekli çelik üretiminin ortaya çıkmasıyla çelik baskın yapı malzemesi olarak yerini almaya başladı.

Dövme demirin tarihine bakmak, insanın yeniliklerinin tarihine bakmaktır. Dövme demir, tarih boyunca antik yapılar, savaş gemileri ve demiryolları inşa etmek için kullanılmıştır. Dövme demir, savaşlarda savaşmış, krallıklar kurmuş ve ebedi tarihi dönüm noktalarına yapılar sağlamıştır.

“Wörf demir” terimi, çalışmak fiilinin geçmiş zaman kipinden gelir. Zamanla, İngilizce dilinin birçok tarihi biçimi kullanımdan düştü ve uzun bir süre sonra “wrought” kelimesi “worked” ile değiştirildi. Yani, gerçek anlamda, “wrought iron” terimi “işlenmiş demir” anlamına gelir.

Demir koyu gri bir metaldir ve dövme demir, dökme demir, karbonize demir (karbon çeliği) ve çelik gibi her biri kendine özgü özelliklere sahip çeşitli malzemelerin ana bileşenidir. Demir ilk alet ve silah malzemesi olarak kullanılmıştır. O zamandan beri

kullanımları ev kullanımından mimari yapı bileşenlerine kadar genişlemiştir.

Dövme demir, dökme demir ve çelikten daha az karbon içermesi bakımından farklıdır. Üç metal, karbon içeriklerine göre şu şekilde sıralanır:

Dövme demir: En az miktarda karbon içerir (%0,035'ten az).

Çelik: Orta miktarda karbon içerir (%0,06 ile %2 arasında).

Dökme Demir: En fazla karbon içeren malzemedir (%2 ile %4 arasında). (Zahner, 2004) (Gayle, 1992)

Ferforje Fransızca bir sözcük. Sözlük karşılığı; “ocakta çalışılan ve dövülerek işlenilen demir” olan ferforje sözcüğü, bugün günlük hayatta demir işçiliğiyle yapılan bir sanatın adıdır. İngiltere'deki Sanayi Devrimi, endüstriyel ölçekte demirli metal üretimiyle yönlendirildi. İlk başta metal dökme demirdi, ardından dövme demir ve son olarak çelik geldi. Yapısal dökme demirin kullanımı on sekizinci yüzyılın sonlarına doğru gelişti. Dökme demir sütunlar 1770'lerde kiliselerde ve 1790'lardan itibaren tekstil fabrikalarında kullanıldı. 1820'lerden itibaren demiryollarının hızlı gelişimi, çoğu başlangıçta dökme demirden yapılmış çok sayıda köprü gerektirdi. Ancak, dökme demirin yapısal bir malzeme olarak ciddi sınırlamaları vardır, özellikle de çekme ve kırılma özelliklerindeki zayıflığıdır. Dövme demir, İncil zamanlarından beri üretilmektedir, ancak Henry Cort'un 1783 tarihli puding fırını için patenti, endüstriyel ölçekte dövme demir üretiminin başlangıcı olarak kabul edilmektedir. Dövme demir üretimi, İngiltere genelinde yüzlerce üretim şirketiyle büyük Viktorya endüstrilerinden biri haline gelmiş ve 1840'ların sonlarından itibaren dövme demir, daha yüksek performanslı bir malzeme olarak dökme demirin yerini almıştır. Gerilim veya bükme elemanlarında daha pahalı dövme demir, basınç elemanlarında ise dökme demir kullanmak yaygındır. Bunun en iyi örneği, Londra Hyde Park'ta 1851 Büyük Sergisi'ne ev

sahipliği yapan Paxton'ın Kristal Sarayıydı. 1847'de dökme demir Dee Köprüsü'nün çökmesinin ardından dövme demir, demiryolu köprüsü yapımında dökme demirin yerini tamamen almıştır. Çelik, 1860'lardan itibaren Bessemer işlemiyle ticari olarak üretildi ancak 1890'dan önce tamamlanan yapılarda nadiren kullanıldı. 1900'e gelindiğinde çelik, inşaatta kullanılan tek demirli metaldir (Moy, Clarke, & Bright, 2009).

Dövme demir, küçük ölçekli üretim yöntemleri kullanılarak yoğun el işçiliğiyle üretilen çok düşük karbonlu bir metaldir. Çoğunlukla, 1856'da Bessemer işlemi için Patent'ten önce üretilir. Dövme demir üretmek için çok sayıda yöntem bulunmaktadır. Erken demir genellikle Kömür demiri veya Bloomery demiri olarak adlandırılır çünkü küçük parçalar halinde üretilirdi. 18. yüzyılın sonlarında Puddled dövme demir üretmek için daha verimli Puddle fırınları kullanıldı. Dünya genelinde birçok başka üretim yöntemi kullanıldı ve bunların hepsi farklı kalite ve miktarlarda demir üretilmeye başlanmıştır.

Şekil 4. Ferforje pencere (<https://www.fatih.com.tr>, 2025)

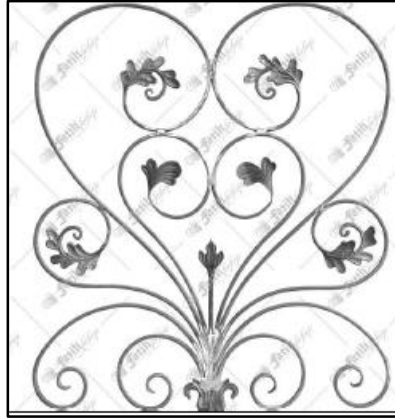


Ferforje sağlamlığı ve dayanıklılığı ile bilinir. Dövülebilir hale gelene kadar demirin ısıtılması ve ardından çeşitli biçimlerde şekillendirilmesiyle yapılır. Bu işlem ferforjeye eşsiz gücünü verir ve onu korozyona ve paslanmaya karşı dirençli hale getirir. İklimin

sert olabileceği ülkelerde bu dayanıklılık özellikle önemlidir. Kendine özgü ve çekici bir görünüme sahiptir. Zarif ve sofistike görünen koyu, mat bir yüzeye sahiptir. Ferforje, karmaşık tasarımlarda işlenebilir, bu da onu kapılar, korkuluklar ve balkonlar gibi dekoratif uygulamalar için mükemmel kılar. Ferforje çok yönlüdür ve çeşitli ortamlarda kullanılabilir. Konut ve ticari binalar ile dış mekânlarda yaygın olarak kullanılmaktadır. Ferforje, mobilya, aydınlatma armatürleri, kapılar, kapılar ve diğer dekoratif öğeler yapmak için kullanılır ve bu da onu evlerinde uyumlu bir görünüm yaratmak isteyen ev sahipleri için popüler bir seçim haline getirir. Çevre dostudur. Geri dönüştürülmüş malzemelerden üretilir, bu da onu çevreye duyarlı olanlar için sürdürülebilir bir seçenek haline getirir.

Günlük işlerde kullanılan at nalı, kazma, saban demiri gibi kaba demir aletleri yapan demirci ustalarından bazıları, zamanla ustalaşarak süslü ve ince işler yapmaya başlamış. Ocakta kızaran demirin, hünerli ustaların ellerinde oya gibi işlenmesiyle ortaya çıkan sanat eserlerine ferforje denmiş (Şekil 5).

Şekil 5. Ferforje pencere (<https://www.fatih.com.tr>, 2025)



İnsan doğaya sözünü geçirmek yolunda en fazla uğraşı demire karşı vermiştir ve uzun yıllar boyunca çekiç, demirle tek baş

etme yöntemi olarak görülmüştür. İlk örneklerinden biri 4. yy.'a ait Dorset'te bulunan bir pencere parmaklığıdır. 12. yy.'da artık S ve C kıvrımları ferforjenin eskimeyen dilinin vazgeçilmez sözcükleri arasındadır. Yaprak ve çiçek motiflerinin plaka demirden ilk örneklerine de bu yy.'da Almanya'da rastlanır. 14. yy.'da dört yaprak motifine de rastlamaya başlanır. Bunun erken ve güzel örnekleri İtalya'da bulunmaktadır. Demirde bu süslemelerle üçüncü boyutun da güzelliği katılmış, ışık ve gölge etkileri olabildiğince kullanılmıştır. 16. yy.'ın başlarında ferforjenin en parlak örneklerine İspanya'da rastlanır. Ferforjenin yeniden doğuşu olarak görebilecek 17. yy. kendisi de amatör bir demirci olan XIII. Louis'in 1610'da tahta çıkmasıyla başlar. 18.yy.'da da altın çağ devam eder. 18.yy.'ın sonlarına doğru büyük şehirlere göç, daha kolay ve ucuz üretilebilen döküm tekniğinin yaygınlaşmasını getirmiştir.

19. yy. artık ferforjeyi tamamen eski bir yöntem olarak görmeye başlamış, bu anlamda uygulamalar biçim gerektirmedikçe aranmaz olmuştur. John Ruskin ve William Morris'in felsefesi ışığında yeşeren Arts&Crafts hareketi ile modern tekniklere tepkinin doğması, özellikle iç mekân uygulamalarda ferforjenin 17. ve 18. yy. çizgisinde gündeme tekrar gelmesini sağlamıştır. 1. Dünya Savaşı tüm mimarlıkta durgunluğa yol açarken, günümüze varana kadar bazı geleneksel uygulamalar ve restorasyonlar dışında pek yeni örnek ortaya çıkmamıştır. Demir alaşımlarının özellikleri, uzun bir süre boyunca malzemenin üretimi ile belirlenmiştir. Dövme demirin metal (demir) matris ve cüruf inklüzyonlarından oluşan bir kompozit olduğu bilinen bir gerçektir (Dillmann, 2001). Bu fenomen, malzemenin güçlü, anizotropik ve lifli bir yapıya sahip olmasını sağlar ve bu özellik, malzeme üretim teknolojisinin gelişmesine rağmen, I. Dünya Savaşı'na kadar eserlerin gelişiminde önemli bir etkiye sahip olmuştur (Vidovszky, 2023).

Ülkelerin gelişmişlik değerlendirmeleri yapılırken tükettikleri demir çelik miktarı önemli ölçüde göz önüne

alınmaktadır. Bu, tabii ki endüstriyel gelişmedeki yerini ve önemini göstermektedir. Ancak Demir denilen metalin geçmişteki yeri ve önemi değerlendirildiği zaman bunun sadece endüstriyel gelişme olarak değil de diğer yönlerinin de açığa çıkarılması gerektiği ortaya çıkmaktadır.

Demir var olduğu günden bu yana insanoğlunun savaşta silah, sosyal yaşamda araç olarak hep yanında ve ilk sırada yer almıştır. Ortaçağla birlikte demirin sanatsal yönünü keşfeden insanoğlu, ona verdiği sanatsal biçimlerle bir kere daha bu metalin ne kadar üstün olduğunu kanıtlamıştır.

Günümüzde endüstriyel alanda hak ettiği yeri alan demir, sanatsal anlamda geçmişteki yerine sahip değildir. Soğuk ve sıcak olarak işlenebilen ve gördüğü ısı değişimleri karşısında çok farklı özellikler kazanan bu harika metal, gerçek anlamda işlendiği zaman Rubensin tabloları kadar ilahi öğeler vermektedir. Bugün marka olan tüm kurumlar müşterilerini daha estetik ve dinlendirici mekânlarda ağırlamak için, masalarından tavan avizelerine kadar birçok yerde ferforje ürünleri kullanılmaktadır. Salonlarda ferforje konsollar, şamdanlar, kornişler, şaraplıklar ve çiçekler için ferforje taşıyıcılar bulunmaktadır. Ferforjenin cam, ahşap, mermer, seramik gibi aynı şekilde doğadan gelen ürünlerle yan yana geldiğinde, bütünleşerek güzelleştiği görülmektedir.

Ferforje ürünlerin avantajları;

- Güçlü ve dayanıklı olması,
- Korozyona dayanıklılığı,
- Güzel bir görünüme sahip olması,
- Özellikle çocuklu aileler için güvenli alan üretmek için ideal olması,
- Sağlam ve güvenilir bir metal olması,

- Kullanıcıya uzun ömürlülüğü sayesinde yüksek avantajlar sunması,
- Her türlü dekorasyon ve obje üretiminde kullanılabilmesi,
- Uygun fiyata yüksek işlevli kullanılabilmesi,
- Bakımı kolay olması,
- Çevreci olması,
- Estetik ve zarafet alanları üretimine izin vermesi gibi pek çok avantajlar kazandırmaktadır (<https://ferforjebursa.com>, 2025).

Dövme demirin diğer dökme ve çelik malzemeler ile karşılaştırma yöntemi kullanılarak tanımlanmasının dört yolu önerilmektedir:

1. Demirin kolayca kesilip kesilmediğini görmek için bir törpü demirin üzerinden geçirilir, aynı işlemi bir çelik parçasına da yaparak törpünün direnci karşılaştırılır.
2. Çelik ve demir arasındaki kıvılcım deseni bir öğütücü kullanarak gözlemlenir; ikincisi daha ağır ve parlak bir kıvılcım üretecektir; daha yüksek karbonlu çelikler ise daha ince ve daha donuk bir kıvılcım görüntüsü vereceklerdir.
3. Meta çubuğun üst kısmı tutulur ve hafifçe vurulur; dövme demir cansız bir sese, çelik ise çınlamaya neden olur. Yüksek karbonlu çelikler ise daha da yüksek bir çınlamaya sahip olduğu görülecektir.
4. Yapısında eğer ahşap benzeri bir damarı varsa büyük ihtimalle kömür demiridir, ancak, Puddled dövme demir yumuşak çelik gibi daha homojen görünür.
5. Mikroskobik analiz, metalin demir mi yoksa çelik mi olduğu daha doğru bir şekilde belirlenir.

Ferforje Üretim İşlemleri

Ferforje imalatı, metal işçiliğinin en eski ve en estetik formlarından biridir. Bu imalat süreci, genellikle demir malzemeyi yüksek sıcaklıklarda ısıtarak dövme yöntemiyle şekil verme üzerine kuruludur. İlk aşamada, kullanılacak demir malzeme seçilir. Kaliteli bir demir, ferforje ürünün dayanıklılığını ve uzun ömrünü garanti eder. Malzeme seçildikten sonra, tasarım aşamasına geçilir. Ferforje desenleri, hem geleneksel hem de modern çizgileri barındırabilir. Bu tasarım, imalat sırasında demire uygulanacak şekli belirler. Demir, dövülebilir hale gelmesi için yüksek sıcaklığa ısıtılır. Bu aşamada, demiri doğru sıcaklıkta ısıtmak ve tutmak kritiktir. Aşırı ısı, demirin yapısını zayıflatabilirken, yetersiz ısı da demiri dövmek için yeterince yumuşatmaz. Isıtılan demir, özel aletler ve çekiçler kullanılarak dövülerek şekil verilir. Bu süreçte, ferforje imalatında uzman kişilerin tecrübesi büyük önem taşır. Dövme işlemi sırasında, tasarlanan desenin detaylarına uygun olarak demire şekil verilir. Bazı ferforje ürünlerde, daha detaylı ve karmaşık desenler için lazer kesim teknolojisi de kullanılır. Lazer kesim, hassas kesimler ve ince detaylar için idealdir. Son aşama, yüzey işlemidir. Ferforje ürünler, paslanmaya karşı korunmalıdır. Bu nedenle, yüzey işlemi olarak genellikle bir kaplama veya boya işlemi uygulanır. Bu işlem, ferforje ürünün ömrünü uzatırken, aynı zamanda estetik bir görünüm kazandırır.

Ferforje üretimi için seçilen ana malzeme demirdir. Demir, dövülerek şekil aldığı anda mükemmel bir dayanıklılık ve estetik bir görünüm sunar. Demirin bu eşsiz özellikleri, onu ferforje imalatı için ideal kılar. Ancak demir dışında, bazı ferforje ürünlerin üretiminde çeşitli metallerin bir kombinasyonu da tercih edilebilir. Örneğin; bakır, bronz veya çinko gibi metaller, demire eklenerek farklı özellikler kazandırabilir ya da estetik açıdan farklı bir dokunuş sağlayabilir. Bu metallerin kombinasyonu, ürünün paslanmazlık özelliğini artırabilir veya daha parlak ve çekici bir yüzey elde etmek

için kullanılabilir. Dövme işlemi sırasında, demir yüksek sıcaklıklarda ısıtılır. Bu, demirin dövülebilir ve şekil alabilir hale gelmesini sağlar. Dövme işlemi, demirin yapısını sıkılaştırır, bu da ferforje ürünlerin dayanıklılığını ve mukavemetini artırır. Ferforje imalatında demir temel malzeme olarak tercih edilse de, bazı durumlarda farklı metallerin kombinasyonu ile daha fonksiyonel veya estetik ürünler elde edilebilir.

Sıcak Dövme

Tam otomatik gazlı ve indüksiyon ısıtmalı tav fırınlarında 900-1000 C° sıcaklığa ulaşan demire şekil verme işlemleri; el işçiliği istenildiğinde örs ve çekiç ile yapılırken, ekseriyet ile şahmerdan çekiç tezgâhların da veya friksiyon dövme preslerde seri üretim olarak işlenmektedir. Dövme işlemi esnasında hem görsellik hem de ölçü kontrolleri yapılmaktadır. Çubuk demirlerin uç kısmına sivri, topbaş, içe büküm ve marullama gibi form verilerek nihai ürünlerdeki standart üretim sonucunda, uygulanan merdiven balkon korkuluklarda yan yana simetrik bir görünüm elde edilmektedir (<https://www.fatih.com.tr>, 2025).

Şekil 6. Sıcak dövme (<https://www.fatih.com.tr>, 2025)



Soğuk Şekillendirme

Ferforje hammaddesi olan kare, lama, silme ve yuvarlak kesitli çubuk demirler üzerinde dekoratif panelin veya modelin üretimi öncesinde; yivli, nervürlü, köşe dövmeli, ağaç desenli ve el dövmesi yüzeyleri soğuk haddeleme makinelerinde şekil verilerek daha sonra boylamsal doğrultma işlemine tabi tutulmaktadır. Nervürlü çubuklar kelepçe sacları jumba demiri, kozalak demiri gibi

nihai ürün ve ara mamuller soğuk şekillendirme ile elde edilmektedir. PLC kontrollü motif kıvrırma makinelerinde farklı ölçülerde S, C ve halka gibi ürünler en son doğrultma işlemine tabi tutularak ölçü standartları sağlanmaktadır (<https://www.fatih.com.tr>, 2025).

Şekil 7. Soğuk şekillendirme (<https://www.fatih.com.tr>, 2025)



Sac Aksesuarlar

Metal sac formunda tabakalar halinde CNC Fiber Lazer kesim tezgâhında istenilen boy ve desende standart veya özel üretimler yapılmaktadır. Ayrıca rulo halinde alınan birinci kalite DKP sacdan progresif kalıplarda kesme şekillendirme işlemi tam otomatik PLC kontrollü sürücüler ile eksantrik preslerde ürüne dönüşmektedir. Punta kaynak makinelerinde soğuk şekillendirilen saclar birbirine kaynatılarak aksesuar haline getirilmektedir. Bütün bu üretimlerde kalıp hatası sonucu üretilen hatalı ürünler ayrılmakta ve gerekli kalıp revizyonları süresinde yapılmaktadır. Nihai üründe keskin metal yüzeylerin ve çapakları kalmamasına dikkat edilerek kullanıcılar için daha temiz yüzeyler elde edilmektedir.

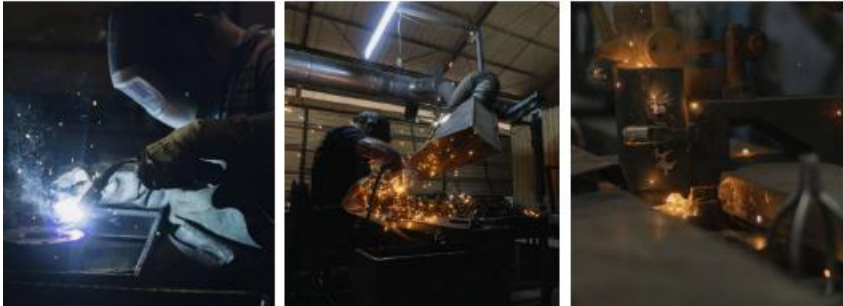
Şekil 8. Sac aksesuarlar (<https://www.fatih.com.tr>, 2025)



Kaynaklı İmalat

Kaynaklı imalat; ilk günden itibaren dekoratif demirin görselliğinin yanı sıra, mukavemetli olmasının zaruriyeti ile kaynaklı birleşimlerde son derece hassas işçilik ve akabinde yapılan çatlak ve kırılmaya dayanıklılık testi ile birçok parçadan oluşan kaynaklı modelin, rijit bir yapı elemanı olarak da davranması için tam otomatik gazaltı makineler ile kaynaklı birleşimlere son derece önem vermektedir. Sac ve döküm aksesuarların demire kaynatılması akabinde uygulanan taşlama ve çapak temizlik işlemi ile yüzeyin pürüzsüz ve estetik bir görünüm kazanması sağlanmaktadır.

Şekil 9. Kaynaklı imalat (<https://www.fatih.com.tr>, 2025)



Boyama ve Paketleme

Ürünlerin iç ve dış mekânda kullanılmalarına göre kumlama işlemi sonrası antipas boyalı standart üretirken isteğe bağlı olarak bilhassa dış mekan ve deniz kenarı kullanımlarında kumlama ve daldırma galvaniz kaplama yapılmaktadır. Paketleme de ürünün bütünlüğünü ve paket içerisindeki âdeti muhafaza edecek dayanımda yapılmakta istenildiğinde ihracat amaçlı palet üzeri şirink kaplama ile de sevk edilebilmektedir. Bazı büyük miktarlı otel iş merkezi konut vb. uygulama projeleri de sahada montaja hazır şekilde bitmiş panel olarak sevk edilmektedir. Böylelikle nihai müşterilere de arada bir uygulamacı olmadan hitap edilebilmektedir.

Şekil 10. Boyama ve paketleme (<https://www.fatih.com.tr>, 2025)



Ferforje Ürün Çeşitleri ve Özellikleri

Ferforje demir, estetik ve fonksiyonelliği bir araya getiren eşsiz bir materyaldir. Bu materyal, zanaatkârların ustalıkla şekillendirdiği bir sanat eserini andırır. Evlerin iç ve dış mekânlarında, bahçelerde, halka açık alanlarda ve birçok farklı yerde ferforje modelleri ile karşılaşmak mümkündür. Bu modeller, sadece dayanıklılıkla değil, aynı zamanda estetik güzellikleriyle de dikkat çeker.

Ferforje ürün yelpazesi oldukça geniştir. Merdiven korkuluklarından kapı süslemelerine, balkon korkuluklarından bahçe mobilyalarına kadar birçok üründe ferforje demirin

dokunuşunu görmek mümkündür. Ferforje aksesuarlar, evin her köşesinde şıklığı ve zarafeti ile öne çıkar.

Klasik ferforje tasarımları, tarihi dokunuşlarla mekânları zenginleştirirken, modern ferforje tasarımları ise minimal ve çağdaş bir hava katar. Ferforje mızrak, kapı süslemeleri, pencere parmaklıkları gibi spesifik parçalar, hem güvenlik hem de estetik açıdan mekânlara değer katar.

Ferforje çeşitlerini tercih ederken, sadece dayanıklılığını değil, aynı zamanda işçiliğin kalitesini, detaylardaki incelikleri ve estetik değerini de göz önünde bulundurmak gerekir. Her bir parça, hem fonksiyonelliği hem de görselliği ile mekânlara ayrı bir kimlik kazandırır.

Ferforje Ürün Fiyatları

Ferforje fiyatlandırmaları, birçok faktöre bağlı olarak değişiklik gösterir. Ürün boyutu, tasarımın karmaşıklığı, kullanılan malzemenin niteliği ve işçilik detayları, bu faktörlerin başında gelir. El yapımı ve özel tasarlanmış ferforje ürünler, benzersizlikleri ve özel emekleri nedeniyle genellikle standart ürünlere göre daha yüksek fiyatlı olabilir.

Kullanılan ferforje malzemenin kalitesi, ürünün dayanıklılığını, paslanmazlık özelliklerini ve genel ömrünü doğrudan etkileyebilir. Örneğin, yüksek kaliteli bir ferforje demir, dış etkenlere karşı daha dirençli olabilir ve uzun yıllar boyunca ilk günkü estetiğini koruyabilir.

Bütçe dostu ferforje ürünleri araştırırken, fiyatın yanı sıra malzemenin kalitesine ve ürünün genel işçiliğine de dikkat etmek gerekir. Ucuz olarak sunulan ürünler, bazen kaliteden ödün verilerek üretilebilir. Dolayısıyla, uzun vadede daha fazla masraf çıkarabilir. Ferforje seçiminde, hem bütçeye uygunluk hem de kalite dengesini sağlamak, en iyi sonucu elde etmek için kritiktir.

Ferforje Ürün Özellikleri

Ferforje ürünler, birçok özellikleriyle bilinir. Öncelikle, bu ürünlerin dayanıklılığı sayesinde dış etkenlere karşı uzun yıllar boyunca direnç gösterirler. Isı ile şekillendirilebilen ferforje demir, tasarımcılara sınırsız bir yaratıcılık imkânı sunar. Bu özellik, hem ferforje aksesuarlarda hem de ferforje merdivenlerde çeşitli formların ve desenlerin ortaya çıkmasını sağlar.

Estetik açıdan, ferforje ürünler genellikle zarif ve sofistike bir dokunuş katar. Klasik ve tarihi bir görünüm arayanlar için, klasik ferforje tasarımlar idealdir. Bu tasarımlar, özellikle tarihi binalarda veya klasik dekorasyonla tamamlanan mekânlarda mükemmel bir uyum sağlar. Diğer yandan, daha sade ve modern bir estetik arayışı içinde olanlar için minimal ferforje tasarımları tercih edilebilir. Bu tasarımlar, modern mimari ile kusursuz bir şekilde bütünleşir.

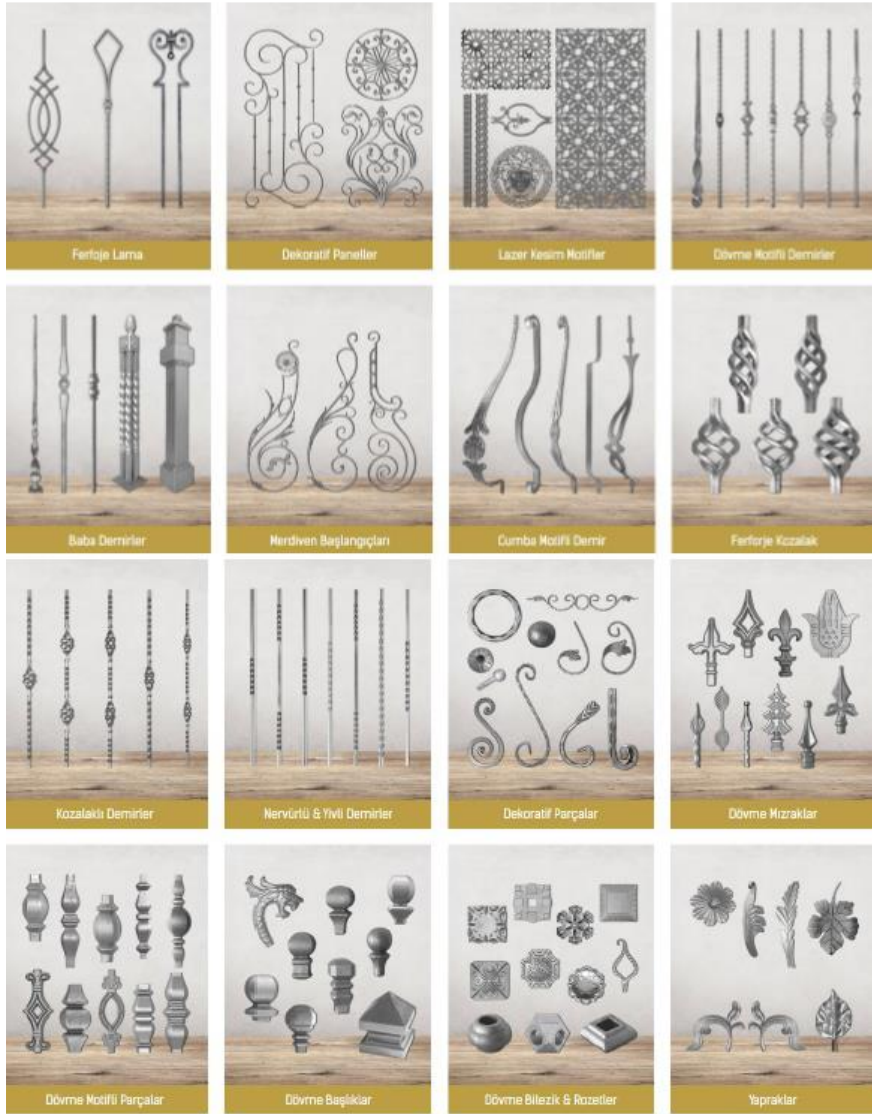
Ferforje Ürün Ölçüleri

Ferforje ürünlerin en önemli avantajlarından biri, özelleştirilebilir olmalarıdır. İster bir merdiven korkuluğu, ister bir pencere parmaklığı olsun; ferforje demir, istenilen boyut ve şekle göre usta ellerde şekillendirilebilir. Bu, hem fonksiyonel hem de estetik ihtiyaçların en iyi şekilde karşılanmasını sağlar.

Ferforje merdivenlerde, basamak genişlikleri, yükseklikleri ve korkuluk uzunlukları gibi ölçüler, mekânın özelliklerine ve kullanıcının ihtiyaçlarına göre ayarlanabilir.

Özel tasarım projelerinde, ferforje ürünlerin ölçülerini belirlerken dikkat edilmesi gereken birkaç önemli faktör vardır. Bunlar arasında kullanılacak alanın fiziksel sınırlamaları, ürünün fonksiyonel gereksinimleri ve estetik tercihler sayılabilir. Aynı zamanda, ölçüleri belirlerken malzemenin doğal esnekliği ve şekillendirme kapasitesi de göz önünde bulundurulmalıdır.

Şekil 11. Ferforje ürün çeşitleri (<https://www.fatih.com.tr>; 2025)





Ferforje İmalatında Dikkat Edilmesi Gerekenler

Ferforje ürünlerin alımında veya özel siparişinde dikkatli olmak, uzun vadede memnuniyeti ve dayanıklılığı garantiler. Ferforje yaptırırken göz önünde bulundurulması gereken bazı önemli hususlar:

Malzeme Kalitesi: Ferforje, demirin işlenmiş formudur ve kalitesi direk dayanıklılığını etkiler. Kaliteli bir ferforje, dış etkenlere, özellikle oksidasyona karşı daha dirençli olacaktır.

İşçilik Standardı: Ferforjenin şekillendirilmesi, uzmanlık gerektiren bir süreçtir. Ürünün detayları, birleşim yerleri ve genel tasarımı, işçiliğin kalitesini yansıtır.

Referans Çalışmaları: Ferforje ürün yaptırmadan önce, firmanın veya zanaatkârın önceki çalışmalarını incelemek faydalıdır. Bu, beklentilere uygun bir sonuç almayı sağlar.

Tasarım ve Stil Seçimi: Ferforje çeşitleri arasında, klasikten moderne, birçok stil bulunmaktadır. Seçim yapılırken, mekânın genel dekorasyonu ve ferforje ürünün kullanılacağı yer dikkate alınmalıdır.

Fiyat ve Kalite Dengesi: Her ne kadar bütçe dostu seçenekler cazip gelse de, ferforje ürünlerde kaliteden ödün vermemek gerekir. Ucuz malzeme ve işçilik, zamanla sorunlara yol açabilir.

Bakım ve Koruma: Ferforje ürünler, belirli aralıklarla bakıma ihtiyaç duyar. Bu nedenle, ürünü yaptırırken, bakım ve koruma konusunda da bilgi almak faydalıdır.

Ferforje yaptırırken, hem estetik hem de fonksiyonellik açısından doğru kararlar vermek, ürünün uzun ömürlü ve dayanıklı olmasını sağlar.

Dövme Demirin Korunması ve Kullanım Alanları

Dövme demiri temizleme ve yeniden kaplama yöntemleri öncelikle dikkatlice düşünülmelidir. Agresif temizleme biçimleri ve uygunsuz kaplamalar daha da hızlanan korozyona katkıda bulunabilir. Korozyon genellikle demirin birleştiği çatlaklarda meydana gelir. Çatlaklar, bu bağlantı noktalarında kaplamaya gerilim uygulama eğilimindedir ve suyun içeri girmesine ve bazen kaplamanın kendisi tarafından tutulmasına neden olur. Bazı durumlarda, korozyonu durdurmaya çalışmaktansa onu kontrol etmek faydalı olabilir (<http://www.cardiff.ac.uk>, 2025).

Ferforje, malzemeyi tekrar tekrar ısıtarak ve deforme etmek için aletlerle çalıştırarak yapılır. Bu işlem metali daha güçlü ve daha eğilebilir hale getirir. Ferforje bir zamanlar en yaygın demir biçimiydi, ancak modern zamanlarda büyük ölçüde çelik ile değiştirildi. Bununla birlikte, dövme demir, çekici görünümü ve korozyon direnci nedeniyle dekoratif lazer kesim korkuluklar ve kapılar gibi bazı uygulamalarda hala kullanılmaktadır.

Tablo 1. Ferforje dövme demirin özelliklerinden bazıları:
(<https://www.metal20.com.tr>, 2025)

Düşük karbon içeriği	Sert, dövülebilir, eğilebilir	Kolayca dövme ile birleştirme
Yüksek cüruf içeriği	Korozyona dayanıklı	Kaynak yapılabilir

Ferforje, uzun bir kullanım geçmişi olan çok yönlü bir malzemedir. Gücü, dayanıklılığı ve güzelliği ile bilinir. Günümüzde ferforje, hem dekoratif hem de işlevsel olmak üzere çeşitli uygulamalar için hala kullanılmaktadır.

*Tablo 2. Ferforje dövme demirin ferforjede kullanım alanları
(<https://www.metal20.com.tr>, 2025)*

Dekoratif balkon korkulukları	Bahçe kapıları	Banklar	Aletler
Balkon kapıları	Garaj kapıları	Masa sandalye	Şömineler
Dekoratif merdiven korkulukları	Otopark kapıları	Dekoratif demir işleri	Lambalar
Apartman giriş kapıları	Pencere korkulukları	Köprüler	Mobilya
Makine			

19. yüzyılda dövme demirin yerini çelik almaya başladı. Çelik, dövme demirden daha güçlü ve dayanıklıdır ve ayrıca üretilmesi daha kolaydır. Bununla birlikte, dövme demir, çekici görünümü ve korozyon direnci nedeniyle dekoratif demir işleri gibi bazı uygulamalarda hala kullanılmaktadır.

Ferforje, uzun bir kullanım geçmişi olan çok yönlü bir malzemedir. Gücü, dayanıklılığı ve güzelliği ile bilinir. Günümüzde ferforje, hem dekoratif hem de işlevsel olmak üzere çeşitli uygulamalar için hala kullanılmaktadır.

Ferforje Ürünlerin Bakımı

Ferforje bakımı, ferforje malzemelerin uzun ömürlü ve güzel görünmesini sağlamak için yapılan bir işlemdir. Aşağıdaki adımlar ferforje bakımını nasıl yapılacağını belirtmektedir:

Ferforje malzeme temizlenir: Öncelikle, toz ve kir temizlenir. Bu, sadece su ve sabunla yapılabilir veya bir endüstriyel temizleyici kullanılabilir.

Oksit tabakası silinir: Ferforje malzeme zamanla oksit tabakası oluşur. Bu tabaka, metalin rengini değiştirebilir ve malzemenin parlaklığını azaltabilir. Oksit tabakası, bir metal temizleme jeli veya sıvısı kullanarak silinir.

Ferforje malzeme boyanır: Ferforje malzeme boyanır, boya metalin rengini ve parlaklığını geri yükler. Boya, sadece ferforje malzemenin görünümünü değiştirir, aynı zamanda malzemeyi su ve hava etkilerinden korur.

Ferforje malzeme parlatılır: Ferforje malzeme, parlatici bir cila ile parlatılır. Bu, metalin parlaklığını geri yükler ve malzemeyi daha güzel görünür hale getirir.

Sonuç ve Öneriler

Bu çalışmanın amacı, demir üretimi ve dövme demir teknolojisinin gelişimi, dövme demirin kullanım alanlarının araştırılması ve geliştirilen tasarımlardaki etkileri üzerine yapılmıştır. Ferforje demirin formları ve şekilleri, yalnızca teknik faktörlerin etkilerinden çıkarılabilir değildir. Bununla birlikte, demirin gelişiminde, teknoloji ve şekillendirme arasındaki ilişki konusunda çok sayıda iyi tanımlanabilir teknik etki bulunmaktadır.

Ferforje, en başından beri gücün ve güzelliğin sembolü olarak tarihteki asil yerini almıştır. M.Ö. 3500'lere kadar uzanan eserleriyle ferforje, dayanıklılığı nedeniyle pratik uygulamalar için kullanılmıştır. Yüzyıllar boyunca, dekoratif ve özenli demir işçiliği önemli bir mimari ifade haline gelmiştir.

Restorasyon durumunda ferforje elemanlar söz konusu olduğunda, uygun ve yetkin koruma önlemleri için malzemenin özelliklerini, tasarımı ve üretim yöntemlerini anlamak önemlidir. Tarihi yapılarda elemanların değiştirilmesi gerektiğinde, değiştirilen malzeme farklı olsa bile, yeni elemanların şekillendirilmesi ve

biçimlendirilmesi tarihi malzeme ve yapının mantığına uygun olmalıdır.

Çıplak gözle bakıldığında dövme demir çubuklar ile yumuşak çelik (günümüzdeki muadili) arasında gözle görülür bir fark yoktur, ancak dövme demir görünüşüyle değil çalışma özellikleri ve korozyona karşı direnciyle ayırt edilir. Dövme demir, yumuşak çeliğe göre daha yüksek ısıda işlenebildiği için daha yumuşaktır ve çekiç altında daha 'işlenebilir' hale gelir. Ancak ferforjenin en dikkat çekici özelliği üstün hava koşullarına dayanıklılığıdır.

Dövme demir sert ve liflidir; cıvatalar, kirişler ve kirişler için gerekli elastikiyet ve çekme mukavemetine sahiptir. Dövme demir ayrıca oldukça yumuşaktır, yani istenen şekle gelene kadar tekrar tekrar ısıtılıp sıcak işlenebilir. Dövme demir ne kadar çok işlenirse o kadar güçlenir; ayrıca kolayca kaynaklanabilir.

Kaynakça

Gayle, M. L. (1992). *Metals in America's Historic Buildings: Uses and Conservation Treatments*. Washington, DC:: Ulusal Park Servisi.

<http://orca.cf.ac.uk>. (2025, Haziran 25).http://orca.cf.ac.uk/61280/1/Emmerson%20and%20Watkinson_Metal%202013.pdf : <http://orca.cf.ac.uk> adresinden alındı

<http://www.cardiff.ac.uk>. (2025, Haziran 25).<http://www.cardiff.ac.uk/share/research/projectreports/ssgreatbritain/index.html>: <http://www.cardiff.ac.uk>/ adresinden alındı

<https://en.wikipedia.org>. (2025, Haziran 20).https://en.wikipedia.org/wiki/Galvanic_corrosion : <https://en.wikipedia.org> adresinden alındı

<https://www.fatih.com.tr>. (2025, 6 20).<https://www.fatih.com.tr/4031-kodlu-ferforje-pencere>:
<https://www.fatih.com.tr/4031-kodlu-ferforje-pencere> adresinden alındı

<https://www.fatih.com.tr>. (2025, 6 20).<https://www.fatih.com.tr/uretim/sicak-dovme>:
<https://www.fatih.com.tr/uretim/sicak-dovme> adresinden alındı

<https://www.fatih.com.tr>. (2025, 6 20).<https://www.fatih.com.tr/uretim/soguk-sekillendirme>:
<https://www.fatih.com.tr/uretim/soguk-sekillendirme> adresinden alındı

<https://www.metal20.com.tr>. (2025, Haziran 25).<https://www.metal20.com.tr/3/10/103/urunler/ferforje/ferforje-uygulamalari/>: <https://www.metal20.com.tr> adresinden alındı

<https://www.metal20.com.tr>. (2025, 6 20).
<https://www.metal20.com.tr/116/119/blog-en/history-of-wrought-iron/>:
<https://www.metal20.com.tr/116/119/blog-en/history-of-wrought-iron/> adresinden alındı

<https://www.mrwroughtiron.co.uk>. (2025, 6 20).
<https://www.mrwroughtiron.co.uk/single-post/2023/08/21/this-is-the-title-of-your-first-post>:
the-title-of-your-first-post:

<https://www.mrwroughtiron.co.uk/single-post/2023/08/21/this-is-the-title-of-your-first-post> adresinden alındı

Moy, S., Clarke, H., & Bright, S. (2009, 2 1). The engineering properties of Victorian structural wrought iron. *Proceedings of the Institution of Civil Engineers, Construction Materials*, s. <https://doi.org/10.1680/coma.2009.162.1.1>.

Zahner, L. W. (2004). *Architectural Metal Surfaces*. New York: Wiley.

BÖLÜM 2

SES VE GÜRÜLTÜ: TEMEL İLKELER VE DEĞERLENDİRME YÖNTEMLERİ

ALİ İŞERİ¹

Giriş

Ses, hayatımızın her alanında hem günlük işlerimizde hem de endüstride karşılaştığımız önemli bir olgudur. *Gürültü* ise, genellikle istenmeyen ses olarak tanımlanır ve ergonomik bir sorun olarak karşımıza çıkar. Ergonomist ve iş sağlığı ve güvenliği uzmanlarının, sesin temel özelliklerini, ölçüm ve analiz yöntemlerini, gürültünün işitme sağlığımız üzerindeki etkilerini ve korunma yöntemlerini iyi anlamaları zorunludur. Özellikle gürültünün olumsuz etkilerini azaltmaya yönelik stratejiler, ergonomi ve iş güvenliği alanlarında büyük önem taşır.

Gürültünün en bilinen etkisi işitme sağlığı üzerindeki olumsuz sonuçlarıdır. Ancak bunun ötesinde, yüksek düzeyde ve sürekli maruz kalınan gürültü, hipertansiyon, kalp ritim bozuklukları, aşırı yorgunluk ve sindirim sistemi bozuklukları gibi çeşitli fizyolojik problemlere de yol açabilir. Gürültünün bu etkileri genellikle stresle ilişkilendirilir ve bireylerin genel sağlık durumunu

¹ Dr. Öğr. Üyesi, Mudanya Üniversitesi, Endüstri Mühendisliği, Orcid: 0000-0002-0340-7039

olumsuz yönde etkileyebilir. Ayrıca, gürültü uyku düzenini bozabilir, kişiler arası iletişimi zorlaştırabilir ve tehlike algısını azaltarak güvenlik riskleri yaratabilir (Kryter, 1994).

Gürültünün bireyler üzerindeki etkileri yalnızca fizyolojik sorunlarla sınırlı kalmaz; psikolojik ve sosyal rahatsızlıklara da yol açabilir (Mucci vd., 2020). Gürültüye bağlı rahatsızlıklar, birçok çalışma ve yaşam alanında şikâyetlere neden olur (Pinsonnault-Skvarénina vd., 2024; Luz vd., 1983). Gürültü, aynı zamanda, dikkat gerektiren işlerde çalışan bireylerin performansını düşürebilir (Sanders ve McCormick, 1993) ve iş kazalarına zemin hazırlayabilir. Bu nedenlerle, gürültü kontrolü ve yönetimi hem bireysel hem de toplumsal düzeyde ele alınması gereken önemli bir konudur.

Bu kitap bölümü, ilk olarak sesin temel fiziksel özelliklerini ele alarak, ses ve gürültünün nasıl ölçüldüğünü ve analiz edildiğini açıklamayı amaçlamaktadır. Sonrasında ilgili endüstriyel standartlar çerçevesinde gürültüyle ilgili sınır ve eylem değerleri açıklanacaktır.

Ses ve Gürültünün Temelleri

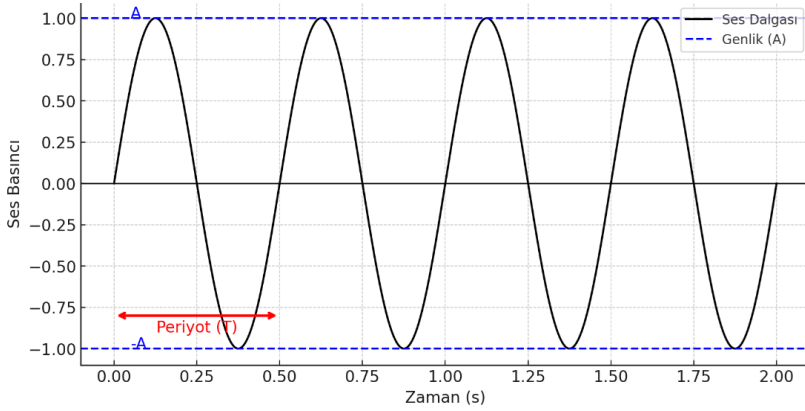
Sesin Fiziksel Yapısı

Ses, bir ortamda meydana gelen titreşimlerin dalgalar halinde (Şekil 1) yayılmasıyla oluşan fiziksel bir olaydır. Genellikle hava, su veya katı yüzeyler gibi iletken ortamlar aracılığıyla yayılır.

Sesin temel bileşenleri arasında *frekans*, *periyot*, *dalga boyu*, *hız* ve *genlik* yer alır. Frekans (f), bir saniyedeki tam titreşim sayısını ifade eder ve *hertz* (Hz) birimiyle ölçülür. Dalga boyu (λ), ses dalgasının bir tam döngüde kat ettiği mesafedir ve sesin yayılma hızı (c) ile frekansın (f) oranı ile *Denklem 1*'deki gibi hesaplanır. Hava için 20 °C sıcaklık ve 1 atmosfer basınçlı standart koşullarda ses iletim hızı yaklaşık 344 m/s'dir.

$$\lambda = \frac{c}{f} \quad (1)$$

Şekil 1. Ses Dalgasında Genlik ve Periyot



Örneğin; bir tren, rayları üzerinde hareket ederken, tekerleklerin raylarla teması sonucunda periyodik titreşimler oluşur. Bu titreşimler çevredeki hava moleküllerine aktarılır ve ses dalgalarına dönüşür. Daha detaylı anlatmak gerekirse, tekerleklerin yüzey düzensizlikleri ve ray bağlantıları her geçişte bir darbe etkisi yaratarak, tekrarlayan basınç dalgalanmalarına neden olur. Bu basınç dalgalanmaları, havada sıkışma (normal hava basıncından yüksek) ve genleşme (normal hava basıncından düşük) bölgeleri oluşturarak trenin hareketiyle birlikte yayılan bir ses dalgası üretir. Sesin frekansı (f), bu periyodik basınç değişimlerinin saniyedeki sayısını ifade ederken, periyodu ($1/f$), dalgaların tekrarlanma süresini gösterir. Trenin hızı ve rayların durumu, sesin şiddetini etkiler. Eğer tren yavaş gidiyorsa, tekerleklerin raylarla çarpışma etkisi daha hafif olur ve daha küçük genlikte ses çıkar. Ancak, tren hızlı gidiyorsa, tekerleklerin raylara vurma şiddeti artar ve daha büyük genlikte yani daha yüksek bir ses duyulur. Yani genlik, sesin şiddetini belirler.

Gürültü ve Ses Arasındaki Ayrım

Gürültü, fiziksel olarak ses ile aynı yapıya sahip olsa da genellikle istenmeyen veya rahatsız edici ses olarak tanımlanır. Gürültü kavramı subjektif olabilir; bir kişi için müzik olarak

algılanan ses, bir başkası için rahatsız edici bir gürültü kaynağı olabilir. Gürültü, bireyler üzerinde sadece işitsel değil, aynı zamanda fizyolojik ve psikolojik etkiler de yaratır. Yüksek gürültü seviyeleri stres, dikkat dağınıklığı, uyku bozuklukları ve iş performansında düşüş gibi olumsuz sonuçlar doğurabilir (Kryter, 1994; Mucci vd., 2020).

Gürültünün zarar potansiyeli, sesin kulağa erişen toplam enerji miktarıyla bağlantılıdır. Bu da sesin şiddeti ve maruz kalma süresinin çarpımıyla belirlenir. Uzun süre yüksek seviyelerde gürültüye maruz kalmak işitme kaybına neden olabilir.

Sesin ve Gürültünün Ölçülmesi

Sesin objektif olarak değerlendirilmesi için en yaygın kullanılan ölçütler *ses güç seviyesi (SWL)*, *ses şiddet seviyesi (SIL)* ve *ses basınç seviyesidir (SPL)*. Bu ölçütlerin hepsi, *desibel (dB)* cinsinden ifade edilir. SWL, ses kaynağının ürettiği toplam akustik enerjiyi ifade eder ve ortamdan etkilenmez. SIL ise, belirli bir noktada, belirli bir yönde yayılan ses enerjisinin yoğunluğunu ifade eder. Ses gücüne bağlıdır ama yayılma yönü ve mesafeye göre değişir. SPL ise, ortamdaki hava basıncındaki dalgalanmalara dayanılarak ölçülen ses seviyesidir ve ses yoğunluğundan etkilenir.

SPL açık ara en sık kullanılan ölçüttür ve gürültü ile ilgili standartlar da bu ölçüte dayanır. SPL'nin en sık kullanılan ölçüt olması mikrofonlar ile doğrudan ve kolaylıkla ölçülebilir olması ve ses basıncını algılayan insanın işitmesi ile daha uyumlu olmasıdır. *Denklem 2'*de SPL'nin dB olarak hesaplanması görülmektedir.

$$SPL \text{ veya } L_p = 10 \log_{10} \frac{P_1^2}{P_r^2} = 20 \log_{10} \frac{P_1}{P_r} \quad (2)$$

Burada, P_1 ölçülen ses basıncını, P_r ise referans ses basıncını göstermektedir. P_r genellikle 20 μ Pa, yani insanın işitme eşiğindeki basınç değeri olarak alınır.

SPL, ses kaynağının gücü ve ortam koşullarına bağlı olarak değişir. Ses kaynağına yakın mesafede ölçülen SPL değeri yüksek olurken, uzaklaştıkça bu değer düşer. Ayrıca, farklı ses kaynaklarının toplam ses seviyesi, bireysel SPL değerlerinin doğrudan toplanmasıyla değil, *Denklem 3*'te gösterildiği gibi logaritmik olarak hesaplanır:

$$L_{p(\text{birleşik})} = 10 \log_{10}(10^{L_{p1}/10} + 10^{L_{p2}/10} + \dots + 10^{L_{pn}/10}) \quad (3)$$

Örneğin, bir fabrikadaki mevcut gürültü seviyesi 88 dBA iken, 85 dBA ve 86 dBA seviyelerinde gürültü üreten 2 yeni ekipman eklenirse, toplam gürültü seviyesi 90 dBA'e yükselir. Bu durum, işyerindeki üst sınırın aşılmasına neden olabilir.

Gürültü kaynaklarının ortamdan çıkarılması da yine aynı şekilde çalışır. Bu durumda *Denklem 3*'te pozitif olan işaretler negatifle değiştirilmelidir.

Gürültünün doğru ölçülebilmesi için arka plan sesleri ile asıl ölçülmek istenen sesin ayrıştırılması gerekebilir. Çoğu zaman, fabrika gibi yerlerde, ortam gürültüsünü kapatmak mümkün olmayabilir, ancak ilgilenilen sesin kaynağı kapatılabilir. Böyle bir durumda, önce ilgilenilen ses, ortam gürültüsüyle birlikte ölçülür. Ardından sadece ortam gürültüsü ölçülür. Eğer arka plan gürültüsü, toplam ölçülen gürültü seviyesinden 13 dB daha düşükse, logaritmik skala gereği toplam seviyeyi önemli ölçüde etkilemediğini söyleyebiliriz (Casali, 2012). Ancak fark 13 dB'den azsa, arka plan gürültüsünün etkisini *Denklem 3*'ü kullanarak toplam seviyeden çıkarabilir ve sadece ilgilenilen ses seviyesini tespit edebiliriz. Yine logaritmik skaladan ötürü, bu formüllerden elde edilen dB hesaplamalarını virgülden sonra birden fazla basamakla kaydetmek gereksizdir. Genellikle, son sonuçları en yakın 0,5 dB'ye veya tam sayı değerlere yuvarlamak yeterlidir.

Ses Ölçüm Ekipmanları

Ses seviyelerinin ve gürültü maruziyetinin ölçülmesi, işitme kaybı riski değerlendirmesi, işitme koruma programlarının gerekliliği ve gürültü kontrol stratejilerinin belirlenmesi açısından oldukça önemlidir. Bu tür ölçümler için en yaygın kullanılan üç temel cihaz vardır. Bunlar: ses seviyesi ölçer (SLM), dozimetre ve spektrum analiz cihazıdır. Bu cihazlar, farklı uygulama alanlarında kullanılmak üzere çeşitli özelliklere sahiptir.

Ses Seviyesi Ölçer (SLM)

Ses seviyesi ölçer (SLM), ses seviyelerini belirli bir an için ölçen temel cihazlardır. TS EN 61672-1:2013 standardına göre iki farklı hassasiyet sınıfında üretilirler. *Sınıf 1* cihazlar, yüksek hassasiyet gerektiren laboratuvar ve saha ölçümleri için uygundur. *Sınıf 2* cihazlar ise, genel saha kullanımı için tasarlanmıştır ve daha geniş toleranslara sahiptir. Mesleki gürültü maruziyeti ve çevresel gürültü ölçümleri için Sınıf 2 seviyesinde bir cihaz yeterlidir. Bir de bu standardın dışında kalan Sınıf 3 cihazlar vardır, bunlar daha düşük hassasiyete sahip olup genellikle tüketici elektroniği ve basit uygulamalar için kullanılırlar.

İnsan kulağı, farklı frekanslardaki seslere aynı hassasiyetle tepki vermez. Özellikle düşük frekanslı sesleri (20-250 Hz) daha az duyarken, orta (250-4000 Hz) ve yüksek frekanslı seslere (4000-20000 Hz) karşı daha hassastır. Bu nedenle, bir sesin şiddetini ölçerken, insan kulağının bu farklı hassasiyetini dikkate almak gerekir. İşte frekans ağırlıklandırma filtreleri bu amaçla kullanılır.

SLM'ler, ses sinyalinin alıp işlerken belirli frekans aralıklarını güçlendirir veya zayıflatır. Bu işlem, ses sinyaline farklı frekans ağırlıklandırma filtreleri uygulanarak gerçekleştirilir. Bu filtreler, insan kulağının farklı frekanslardaki seslere verdiği tepkiyi taklit eder.

Yaygın olarak kullanılan ağırlıklandırma filtreleri A (*dBA*) ve C (*dBC*)'dir. A ağırlıklandırması (*dBA*), düşük frekansları azaltır, ancak orta frekansları daha az etkiler. Böylece insan kulağının duyarlılığına en yakın ölçümü sağlar. İş sağlığı ve güvenliği ölçümlerinde, çevresel gürültü değerlendirmelerinde ve genel amaçlı ses seviyesi ölçümlerinde genellikle *dBA* kullanılır.

C ağırlıklandırması (*dBC*) ise düşük frekansları daha az filtreler. Daha çok yüksek ses seviyelerinin ve endüstriyel gürültünün değerlendirilmesinde kullanılır. Örneğin; bir fabrikadaki makine gürültüsünü veya bir konserdeki müzik sesini ölçmek için *dBC* kullanılabilir.

Ses seviyesi ölçümleri, sadece frekans ağırlıklandırmasıyla sınırlı değildir. Ses seviyesinin zaman içinde nasıl değiştiği de önemlidir. İşte bu noktada zaman ağırlıklandırması devreye girer. Zaman ağırlıklandırması, SLM'nin ses seviyesindeki değişimlere ne kadar hızlı tepki vereceğini belirler. SLM'lerde yaygın olarak kullanılan üç temel zaman ağırlıklandırma modu bulunur. Bunlar Slow (Yavaş), Fast (Hızlı) ve Impulse (Darbe) olarak ifade edilir.

Slow modu, 1 saniyelik zaman sabitine sahiptir. Ses seviyesindeki yavaş değişimleri ve ortalama ses seviyesini belirlemek için kullanılır. Ses seviyesindeki ani değişikliklere daha az duyarlıdır ve daha kararlı bir ölçüm sonucu sağlar. Örneğin; bir odadaki ortalama gürültü seviyesini ölçmek için *Slow* modu kullanılabilir.

Fast modu, 0,125 saniyelik zaman sabitine sahiptir. Ses seviyesindeki hızlı değişimleri ve ani yükselmeleri tespit etmek için kullanılır. Daha dinamik bir ölçüm sonucu sağlar. Örneğin; bir konuşmadaki kelimelerin veya bir müzik parçasındaki notaların ses seviyelerini ölçmek için *Fast* modu kullanılabilir.

Impulse modu ise, çok daha kısa bir zaman sabitine (35 milisaniye) sahiptir. Ani ve kısa süreli sesleri ölçmek için uygundur.

Örneğin; silah atışı, pres darbeleri veya patlamalardaki gibi ani ses seviyeleri bu modda ölçülmelidir. Bazı SLM'ler, ağırlıklandırılmamış bir *Peak* (Tepe) ayarı içerir. Bu ayar, RMS (Ortalama Kare Kök) hesaplamasını kullanmak yerine, basınç darbesi sırasında ulaşılan gerçek ses basıncı seviyesinin tepe noktasını gösterir. Bu ölçüm modu bazı uygulamalar için gereklidir. Örneğin, Avrupa Birliği'nin 2003/10/EC sayılı Gürültü Direktifine (EPC, 2003) göre, işyerlerinde gürültüye ani maruz kalma için tepe ses basıncı sınırı 135 dBC'dir. Bu değerin aşılıp aşılmadığının kontrolü için SLM'lerin Peak modu kullanılmalıdır.

SLM'lerde ses ölçümleri için en önemli bileşen mikrofondur. Dolayısıyla ses ölçümlerinde mikrofona doğru konumlandırılması çok önemlidir. Mikrofon, vücut veya diğer nesneler tarafından engellenmemeli ve ses kaynağına doğru yönlendirilmelidir. Sıcaklık, hava basıncı ve nem gibi çevresel faktörler ölçümleri etkileyebilir. Özellikle sıcaklık değişimleri önemlidir ve üreticilerin sağladığı düzeltme faktörleri kullanılmalıdır. Rüzgârlı havalarda ise mikrofon üzerine rüzgâr koruyucu takılmalıdır. Mikrofonlar nemden ve manyetik alanlardan da korunmalıdır (Casali, 2012).

Gürültü dozimetreleri

Gürültü dozimetreleri, tıpkı SLM'ler gibi, ses seviyelerini ölçmek için kullanılırlar. Ancak, dozimetrelerin temel farkı, zaman içinde değişen gürültü seviyelerini takip ederek çalışanların günlük toplam gürültü maruziyetini belirlemeleridir. Bu özellikleri sayesinde, çalışanların gürültüye ne kadar süreyle ve hangi şiddette maruz kaldığını doğru bir şekilde ölçebilirler.

Dozimetreler, genellikle çalışanların kemerine, cebine veya yakasına takılır. Mikrofon ise omuz veya yaka bölgesine yerleştirilir. Bu sayede mikrofon, çalışanın bulunduğu ortamdaki gürültüyü sürekli olarak algılar. Dozimetreler, belirli zaman aralıklarında

ölçüm yaparak TWA (Zaman Ağırlıklı Ortalama Gürültü Maruziyeti) ve gürültü dozu gibi temel parametreleri hesaplar.

TWA, çalışanın 8 saatlik bir çalışma günü boyunca maruz kaldığı ortalama gürültü seviyesini ifade eder. Bu değer, gürültünün zaman içindeki değişimlerini dikkate alarak hesaplanır ve çalışanın günlük gürültü maruziyetini temsil eder. Gürültü dozu ise, çalışanın belirli bir süre boyunca maruz kaldığı toplam gürültü miktarını ifade eder. Bu değer, gürültünün şiddeti ve maruziyet süresinin birleşimini gösterir. TWA ve gürültü dozu ile ilgili daha detaylı bilgi Bölüm 4'te verilmiştir.

Dozimetreler, çalışanın üzerinde taşındığı için kişisel gürültü maruziyetini, sürekli gözlem gerektiren geleneksel SLM ölçümlerine kıyasla daha pratik ve doğru bir şekilde ölçerler. Gürültü seviyesindeki değişimleri takip ederek, çalışanın gün içindeki farklı zamanlarda maruz kaldığı gürültü miktarlarını belirlerler. Aynı zamanda TWA ve gürültü dozu parametrelerini hesaplayarak, çalışanın gürültü maruziyetinin yasal sınırların altında olup olmadığını değerlendirmeye yardımcı olurlar.

Dozimetreler, özellikle gürültünün gün içinde değişkenlik gösterdiği ve çalışanların farklı görevler sırasında farklı seviyelerde gürültüye maruz kaldığı inşaat, madencilik, imalat ve havalimanları gibi sektörlerde yaygın olarak kullanılırlar.

Spektrum Analiz Cihazları

Spektrum analiz cihazları, SLM'lerin daha gelişmiş bir türüdür. SLM'ler genel gürültü seviyesini ölçerken, spektrum analiz cihazları gürültüyü oluşturan farklı frekans bileşenlerini ayrıştırarak detaylı bir analiz sunarlar. Başka bir deyişle, gürültüyü frekanslara ayırarak, her bir frekansta ne kadar enerji olduğunu gösterirler. Bu sayede, gürültünün frekans spektrumu elde edilir. Bu bilgi, gürültünün hangi frekanslarda yoğunlaştığını ve hangi frekansların daha baskın olduğunu anlamamızı sağlar.

Spektrum analiz cihazlarının en önemli kullanım alanlarından biri, gürültü kontrolü için mühendislik çözümleri geliştirmektir. Örneğin, bir işyerinin iç yüzeylerini kaplamak için uygun bir ses emici malzeme seçmek istediğimizi varsayalım. Bu durumda, gürültünün spektral içeriğini bilmemiz gerekir. Çünkü, farklı malzemeler farklı frekanslardaki sesleri farklı şekillerde emerler. Spektrum analiz cihazı ile gürültünün frekans spektrumunu elde ederek, hangi yoğunlukta, gözeneklilikte ve kalınlıkta bir malzeme seçmemiz gerektiğini belirleyebiliriz.

Spektrum analiz cihazları, ayrıca gürültülü ortamlarda sinyal duyulabilirliğini veya konuşma anlaşılabilirliğini tahmin etmek için gereken frekansa özgü ölçümleri yapmak için de gereklidir. Örneğin, bir konferans salonunda konuşmacının sesinin ne kadar iyi duyulabildiğini veya bir fabrikada çalışanların birbirini ne kadar iyi anlayabildiğini belirlemek için spektrum analiz cihazları kullanılabilir.

Kalibrasyon

Yukarıda bahsedilen tüm ses ölçüm cihazlarında (SLM, dozimetre, spektrum analiz cihazları) bir mikrofon bulunur. Bu mikrofon, havadaki basınç değişimlerini elektrik sinyaline dönüştürerek cihazın elektronik aksamına iletir. Modern ses ölçüm cihazları genellikle kararlı ve güvenilir olsa da ölçüm doğruluğunu garanti altına almak için mikrofonun cihazla uyumlu hale getirilmesi, yani kalibre edilmesi gerekir.

Mikrofonlar, çevresel koşullara (sıcaklık, nem, vb.) duyarlı oldukları ve kaba kullanım, nem veya manyetik alanlar nedeniyle hasar görebilecekleri için, ölçüm ekipmanı zincirinin genellikle en zayıf halkasıdır. Bu nedenle, bir SLM ile her ölçümden önce ve sonra, bir *akustik kalibratör* kullanılmalıdır.

Akustik kalibratörler, bilinen bir ses basıncı seviyesi üreten cihazlardır. Bu cihazı mikrofona takarak, mikrofonun ve cihazın

doğru bir şekilde ölçüm yapıp yapmadığı kontrol edilir. Gerekirse, cihazın ayarları kalibratörün ürettiği referans ses seviyesine göre ayarlanarak kalibre edilir.

Gürültü Maruziyeti ve Değerlendirme Yöntemleri

Değişim (Exchange) Oranları

Gürültünün insan sağlığına etkisi, hem sesin şiddetine (dB) hem de maruziyet süresine bağlıdır. Bu ilişkiyi anlamak için değişim oranları kullanılır. *Değişim oranı*, ses seviyesindeki bir artışın, maruziyet süresini ne kadar azaltacağını gösterir. ABD’de 5 dB (OSHA, 1983), Avrupa Birliğinde ise 3 dB (EPC, 2003) değişim oranı kullanılır. Bu orana göre, ses seviyesi 3 dB arttığında, izin verilen maruziyet süresi yarıya düşer. Örneğin; 85 dBA’da 8 saat çalışmaya izin veriliyorsa, 88 dBA’da 4 saat, 91 dBA’da ise 2 saat çalışmaya izin verilir.

Belirli bir gürültü seviyesi için, izin verilen referans maruziyet süresi (T), Avrupa Birliği ülkeleri için *Denklem 4*’teki gibi hesaplanabilir.

$$T = \frac{8}{2^{(L-85)/3}} \quad (4)$$

Zaman Ağırlıklı Ortalama Ses Seviyesi (TWA)

TWA, çalışanların 8 saatlik çalışma süresince maruz kaldıkları ortalama gürültü seviyesini belirleyen bir ölçümdür. ISO 1999:2013’e göre; *Denklem 5*’teki gibi hesaplanır.

$$TWA = 10 \log_{10} \left[\frac{1}{T} \sum_{i=1}^N 10^{L_i/10} t_i \right] \quad (5)$$

Bu denklemde, L_i değerleri genellikle dBA olarak ses seviyelerini gösterirken, t_i değerleri ise bu değerlere maruziyet sürelerini temsil eder. T ise, toplam zamanı ifade eder. Genellikle

endüstride standartlara uyum açısından 8 saatlik bir mesai kullanılarak hesaplanır.

Hesaplama Örneği:

Bir çalışan 8 saatlik vardiyası boyunca 2 saat 85 dBA, 4 saat 90 dBA ve 2 saat 80 dBA gürültüye maruz kalıyorsa, 8 saatlik TWA değeri aşağıdaki gibi hesaplanır:

$$TWA = 10 * \log_{10} [(1/8) * (10^{85/10} * 2 + 10^{90/10} * 4 + 10^{80/10} * 2)] \\ \approx 88 \text{ dBA}$$

Avrupa standartlarına göre (EPC, 2003) maruziyet eylem TWA değeri, 8 saatlik bir çalışma günü için genellikle 85 dBA olarak kabul edilir. Bu değerin üzerindeki maruziyetlerde, işverenlerin ek önlemler alması gerekir.

Gürültü Dozu

Gürültü dozu, çalışanın belirli bir süre boyunca maruz kaldığı toplam gürültü miktarını ifade eder. *Denklem 6*'daki gibi genellikle 8 saatlik bir mesai için hesaplanır. Bu denklemde, C_i değerleri her bir maruziyetin toplam süresini gösterirken, T_i değerleri *Denklem 4*'teki gibi hesaplanan izin verilen referans maruziyet sürelerini gösterir.

$$D = 100 \sum_{i=1}^n \frac{C_i}{T_i} \quad (6)$$

Hesaplama Örneği:

Bir çalışan 88 dBA gürültüye 6 saat maruz kalıyorsa, diğer 2 saatini ise sessiz bir ofis ortamında geçiriyorsa bu çalışanın gürültü dozu (Avrupa'daki 3 dB kuralına göre):

$D = 100 * (6/4) = \%150$ olacaktır. Çünkü 88 dBA için izin verilen referans maruziyet süresi 4 saattir. İşçi bu sınırı %50 oranında aşmıştır.

Gürültü dozu genellikle ABD’de OSHA standartlarında (OSHA, 1983) kullanılan bir terimdir. Avrupa standartlarında gürültü dozu terimi doğrudan kullanılmamakla beraber maruziyet düzeyleri ve 3 dB değişim oranı kullanılarak benzer bir değerlendirme yapılır. Amaç, çalışanın gürültüye maruziyetini doğru bir şekilde belirlemek ve işitme sağlığını korumaktır.

Gürültü Maruziyeti Sınır Değerleri

Avrupa Birliği'nde işyerlerinde gürültüye maruziyeti düzenleyen temel mevzuat, 2003/10/EC sayılı Çalışanların Gürültü ile İlgili Risklerden Korunmalarına Dair Yönetmelik’tir (EPC, 2003). İşyerlerinde gürültüye maruz kalma ile ilgili asgari sağlık ve güvenlik şartlarını bu yönetmelik belirler. Bu yönetmelik, Türkiye de dahil (Çalışma ve Sosyal Güvenlik Bakanlığı, 2013) olmak üzere, üye ülkeler tarafından ulusal mevzuatlarına aktarılmıştır.

Bu yönetmeliğe göre 3 farklı kavram üzerinden maruziyet düzeyleri belirlenmektedir:

- *Günlük Gürültü Maruziyet Düzeyi ($L_{EX,8h}$):* 8 saatlik bir çalışma günü için çalışanın maruz kaldığı gürültü seviyesinin dBA ortalamasıdır. *Denklem 5’teki TWA hesaplaması ile bulunur.*
- *Haftalık Gürültü Maruziyet Düzeyi ($L_{EX,40h}$):* 40 saatlik bir çalışma haftası için çalışanın maruz kaldığı gürültü seviyesinin dBA ortalamasıdır. Günlük maruziyet düzeyinin günden güne anlamlı şekilde değiştiği durumlarda kullanılır. *Denklem 5’teki TWA hesaplaması ile bulunur.*
- *En Yüksek Ses Basıncı (P_{tepe}):* Anlık ve ani seslerin oluşturduğu en yüksek basınç değeridir. Pascal (Pa) ve dBC cinsinden ölçülür.

Bu yönetmeliğe göre maruziyet hesaplamalarında 3 dB değişim oranı kullanılır, yani ses seviyesi 3 dB arttığında, izin verilen maruziyet süresi yarıya düşer.

Değerlendirme için 3 farklı değer kümesi kullanılır. Bunlar aşağıdaki gibidir:

- Maruziyet Sınır Değerleri (Exposure Limit Values)
- En Yüksek Maruziyet Eylem Değerleri (Upper Exposure Action Values)
- En Düşük Maruziyet Eylem Değerleri (Lower Exposure Action Values)

Maruziyet Sınır Değerleri

Maruziyet sınır değerleri, aşılmaması gereken en yüksek gürültü maruziyet sınırlarını gösterir. Bu sınırların aşılması durumunda, işverenler acil önlemler almak ve çalışanların sağlığını korumakla yükümlüdür. Maruziyet sınır değerleri uygulanırken, çalışanların maruziyetinin tespitinde, çalışanın kullandığı kişisel kulak koruyucu donanımların koruyucu etkisi de dikkate alınır.

Maruziyet sınır değerleri sekiz saatlik günlük gürültü maruziyet düzeyi ($L_{EX,8h}$) kullanıldığında 87 dBA'yı geçmemelidir. Anlık yüksek gürültüler için ise sınır, en yüksek ses basıncı (P_{tepe}) olarak ifade edilir ve 200 Pa değerini geçmemelidir. Bu değer 140 dBC'ye eşdeğerdir.

En Yüksek Maruziyet Eylem Değerleri

En yüksek maruziyet eylem değerleri, maruziyet sınır değerlerinden daha düşüktür. Ancak bu değerlere ulaşıldığında veya aşıldığında, işverenler gürültü maruziyetini azaltmak için bir dizi önlemler almak zorundadır. Bu önlemler arasında, gürültü kaynaklarının kontrolü, iş süreçlerinin yeniden düzenlenmesi, kişisel koruyucu ekipmanların sağlanması ve çalışanların eğitimi yer alır.

Maruziyet eylem değerleri uygulanırken, çalışanların maruziyetinin tespitinde, maruziyet sınır değerlerinin aksine çalışanın kullandığı kişisel kulak koruyucu donanımlarının koruyucu etkisi dikkate alınmaz.

En yüksek maruziyet eylem değerleri, sekiz saatlik günlük gürültü maruziyet düzeyi ($L_{EX,8h}$) kullanıldığında 85 dBA'dır. Anlık yüksek gürültüler için ise eylem değeri, en yüksek ses basıncı (P_{tepe}) olarak ifade edilir ve 140 Pa değeri kullanılır. Bu değer 137 dBC'ye eşdeğerdir.

En Düşük Maruziyet Eylem Değerleri

En düşük maruziyet eylem değerleri, en yüksek maruziyet eylem değerlerinden daha düşüktür. Bu değerlere ulaşıldığında, işverenler gürültü maruziyetini izlemeye başlamalı ve gerekli görüldüğünde önleyici tedbirler almalıdır. Bu değerler, gürültü maruziyetinin henüz yüksek seviyelere ulaşmadığı, ancak gelecekte sorunlara yol açabileceği durumlarda erken uyarı niteliği taşır.

Uygulanırken, alışanların maruziyetinin tespitinde, en yüksek maruziyet eylem değerleri gibi çalışanın kullandığı kişisel kulak koruyucu donanımlarının koruyucu etkisi dikkate alınmaz.

En düşük maruziyet eylem değerleri, sekiz saatlik günlük gürültü maruziyet düzeyi ($L_{EX,8h}$) kullanıldığında 80 dBA'dır. Anlık yüksek gürültüler için ise eylem değeri, en yüksek ses basıncı (P_{tepe}) olarak ifade edilir ve 112 Pa değeri kullanılır. Bu değer 135 dBC'ye eşdeğerdir.

Yukarıda bahsedilen sınır ve eylem değerlerinin takibi için yapılan tüm gürültü ölçümleri ve hesaplamaları, iş sağlığı ve güvenliği uzmanları tarafından yapılmalıdır.

Sonuç

Bu kitap bölümü, ses ve gürültü kavramlarının temel olarak anlaşılmasını ve işyerlerinde daha sağlıklı ve güvenli bir ortam oluşturulmasına katkıda bulunmayı amaçlamaktadır.

Kitap bölümünde, ilk olarak sesin temel fiziksel özellikleri ve nasıl ölçülebileceği üzerinde durulmuş, sonrasında gürültünün neden olduğu problemler, nasıl ölçülebileceği ve maruziyet düzeylerinin uygulanması açıklanmıştır. Maruziyet düzeylerinin değerlendirmesi, özellikle Türkiye için de geçerliliği olan Avrupa Birliği'nin ilgili gürültü yönetmeliği kullanılarak yapılmıştır.

Gürültü, modern yaşamın kaçınılmaz bir parçası olsa da işitme kaybı başta olmak üzere çeşitli sağlık sorunlarına yol açabileceği göz ardı edilmemelidir. Bu nedenle gürültü maruziyetinin anlaşılması, değerlendirilmesi ve kontrol altına alınması büyük önem taşımaktadır. Gürültü maruziyetinin yüksek olduğu durumlarda kaynaktan azaltma, yayılımı engelleme, iş süreçlerini yeniden düzenleme, kişisel koruyucu ekipman kullanımı ve eğitim gibi birçok farklı eylem iş sağlığı ve güvenliği profesyonelleri tarafından uygulanmalıdır. Gürültü kontrolünün çok yönlü bir yaklaşım gerektirdiği ve sürekli olarak iyileştirilmesi gerektiği unutulmamalıdır.

Kaynakça

Casali, J. G. (2012), "Sound and Noise" in *Handbook of Human Factors and Ergonomics*, ed. Gavriel Salvendy (John Wiley & Sons, 2012), 673-698.

Çalışma ve Sosyal Güvenlik Bakanlığı (2013). Çalışanların Gürültü ile İlgili Risklerden Korunmalarına Dair Yönetmelik. <https://www.mevzuat.gov.tr/File/GeneratePdf?mevzuatNo=18647&mevzuatTur=KurumVeKurulusYonetmeligi&mevzuatTertip=5>; Erişim tarihi: 12/02/2025

EPC (European Parliament and Council). (2003). Directive 2003/10/EC of the European Parliament and of the Council of 6 February 2003 on the minimum health and safety requirements regarding the exposure of workers to the risks arising from physical agents (noise). *Official Journal of the European Union*, L 42, 38-44.

ISO. (2013). ISO 1999:2013 - Acoustics — Estimation of noise-induced hearing loss. *International Organization for Standardization*. <https://www.iso.org/standard/45103.html>

Kryter, K. D. (1994), *The Handbook of Hearing and the Effects of Noise*, Academic, New York.

Luz, G. A., Raspet, R., & Schomer, P. D. (1983). An analysis of community complaints to noise. *The Journal of the Acoustical Society of America*, 73(4), 1229-1235.

Mucci, N., Traversini, V., Lorini, C., De Sio, S., Galea, R. P., Bonaccorsi, G., & Arcangeli, G. (2020). Urban noise and psychological distress: A systematic review. *International Journal of Environmental Research and Public Health*, 17(18), 6621.

Occupational Safety and Health Administration (OSHA) (1983), "Occupational Noise Exposure; Hearing Conservation

Amendment; Final Rule,” 29CFR1910.95, *OSHA, Code of Federal Regulations*, Federal Register, Washington, DC.

Pinsonnault-Skvarenina, A., Guay, V., Leblanc-Guindon, R., Carrier, M., Bockstael, A., Gagné, J. P., & Leroux, T. (2024). Construction of a large road infrastructure in a metropolitan area; what can the analysis of community complaints to noise tell us?. *Environmental Impact Assessment Review*, 106, 107504.

Sanders, M. S., and McCormick, E. J. (1993), *Human Factors in Engineering and Design*, 7th ed., McGraw Hill, New York

Türk Standartları Enstitüsü. (2013). TS EN 61672-1:2013 *Elektroakustik - Ses seviye ölçerleri - Bölüm 1: Özellikler*.

BÖLÜM 3

ENDÜSTRİYEL TASARIMDA MİMARİ MODELLEMENİN ÖNEMİ

FATİH AYKURT¹

Giriş

Endüstriyel tasarımın amacı, ürünlerin estetik, işlev ve ergonomi özelliklerine odaklanarak kullanıcı ihtiyaçlarına cevap veren çözümler sunmaktır. Mimari modelleme, fiziksel, işlevsel ve estetik özelliklerin detaylı bir şekilde iyileştirilmesini anlamada önemli hale gelir. Mimari modelleme, tasarımcının ürün veya sistemin bazı özelliklerini simülasyonlar, 3D modelleme ve diğer dijital tasarım araçları gibi tekniklerle sanal bir ortamda test etmesine ve geliştirmesine olanak tanır.

İşlevselliğin İyileştirilmesi: Mimari modelleme, tasarımcıların ürünün işlevsel yapısını daha iyi anlamalarını sağlar. 3D modelleme yazılımları ile tasarımcılar, her bir bileşeni derinlemesine inceleyerek işlevselliği sağlamak için iyileştirmelerin nerelerde yapılabileceğini görebilir. Bu, özellikle mekanik bileşenler veya karmaşık sistemler için çok kritiktir, böylece ürününüz optimum yapıya ulaşır.

¹ Öğr. Gör. Dr., Talia Yaşar Bakdur Ortaokulu, Ankara/Türkiye, Orcid: 0000-0002-7926-621X, fatihaykurt06@gmail.com

Şekil-1 İşlevselliğin İyileştirilmesi



Mimari modelleme, endüstriyel tasarım sürecinde ürün işlevselliğini artırmak amacıyla giderek daha yararlı bir araç haline gelmektedir. Özellikle mekanik bileşenler veya karmaşık sistemleri içeren projelerde, bir ürünün işlevsel yapısını anlamak oldukça önemlidir. 3D modelleme yazılımlarının sunduğu olanaklar, tasarımcıların ürünün bileşenlerini sanal ortamda en ince ayrıntısına kadar inceleyerek birbirleriyle nasıl etkileşimde bulunduklarını görmelerine olanak tanır. Bu sayede, her bir parçanın işlevsellik açısından en iyi performansı göstermesi için iyileştirilmesi gereken alanlar belirlenebilir.

Örneğin, bir dişli sistemine sahip bir makine parçasını ele alalım. 3D modelleme sayesinde, bu dişliler arasındaki çalışma ilişkisi, sürtünme veya dişliler arasında boşluk olmaması gibi potansiyel sorunlar açısından incelenebilir. Bu çalışma, verimliliği artırmak için dişlilerin boyutu, konumu veya tipi gibi alanlarda optimizasyon imkânları sunar. Böylelikle, bileşenler arasındaki uyumsuzluklar giderilerek ürünün genel işlevselliği geliştirilir.

Diğer örnekler arasında devre kartları, kablolar ve diğer bileşenlerden oluşan bir elektronik cihazın iç yapısı yer alır. 3D

modelleme, tasarımcıların bu bileşenlerin ideal bir düzenlemesini yapmalarına yardımcı olarak, kablo sıkışması veya devrelerin aşırı ısınması gibi işlevselliği olumsuz etkileyebilecek potansiyel sorunlardan kaçınılmasını sağlar. Bu şekilde, bu potansiyel sorunlar önceden belirlenip çözüldüğünde, daha güvenilir ve etkili bir tasarım elde edilir.

Ayrıca, mimari modelleme hareketli parçaların test edilmesini de sağlar. Örneğin, bir menteşe veya hidrolik sistem söz konusuysa, 3D simülasyonlar, bileşenin kuvvet dağılımı, dayanıklılığı ve esnekliği gibi özelliklerinin test edilmesine olanak tanır. Bu parçaların gerçek dünya koşullarında nasıl performans göstereceğine dair sağlanan bilgiler oldukça değerlidir ve gerektiğinde tasarımın ayarlanmasını mümkün kılar.

Özet: Mimari modelleme, ürünün farklı bileşenlerini maksimum işlevselliği sağlamak üzere destekleyebilir. Bu bileşenler arasındaki etkileşimlerin derinlemesine analizi, her bir parçanın sorunsuz şekilde çalışması için gerekli olan iyileştirmeleri ortaya koyar. Bu da daha dayanıklı ve kullanıcı dostu bir ürün ortaya çıkarır.

Estetik Çekiciliğin Artırılması: Estetik, endüstriyel tasarımda her ürünün başarısı için önemli faktörlerden biridir. Mimari modelleme, ürünlerin görsel olarak daha etkileyici hale gelmesine yardımcı olur. 3D modelleme teknikleri, tasarımcıların renk, form, doku ve ışık gibi birçok görsel unsuru test etmelerine olanak tanır ve daha önce bilinmeyen estetik bir boyut ortaya çıkarır.

Şekil-2 Estetik Çekiciliğin Artırılması



Endüstriyel mimaride modelleme, estetik çekiciliği artırır. Tasarımcılara sadece fonksiyonel ihtiyaçları değil, aynı zamanda görsel ve duygusal etkileri de dikkate alma imkânı sunar. Estetik, bir yapının veya ürünün fiziksel özelliklerinin ötesine geçer; estetik, bir yapının veya ürünün kullanıcılarıyla duygusal bir bağ kurmasını sağlar. Üç boyutlu modelleme ve dijital tasarım, bu estetik süreci ileriye taşıyan önemli araçlardır.

a. Görsel Unsurların Test Edilmesi ve İncelenmesi

3D modelleme, tasarımcılara renk, doku, form ve ışık gibi temel görsel unsurları sanal bir ortamda test etme imkânı sunar. Geleneksel çizimlerde bu unsurlar fiziksel prototipler gerektirirken, dijital modelleme ile bunlar anında gözlemlenebilir ve analiz edilebilir. Bu, şunları mümkün kılar:

Renk Seçimi: Tasarımcılar, farklı renk kombinasyonlarıyla hızlıca denemeler yaparak en çekici olanları seçebilir. Ayrıca, renklerin çevre ile etkileşimini de göz önünde bulundurabilirler.

Form ve Geometri: Dijital 3D modeller üzerinde tasarımcılar, estetik ve fonksiyonel açıdan uyumlu formlar yaratmak için

geometrik şekilleri optimize edebilirler. Model, formun izleyicilerin algısını nasıl etkilediğini gözlemlemelerine olanak tanır.

Doku ve Yüzeyler: Farklı malzeme ve doku seçenekleri 3D modellerde denenebilir. Doku, estetik çekiciliği üzerinde hemen gözle görülür bir etki yaratabilir; örneğin, pürüzlü bir yüzeyin düzgün bir yüzeyden nasıl farklı görüldüğü gösterilebilir.

b. Işık ve Gölge Oyunu

Işık, mimarının estetiğini belirleyen en önemli unsurlardan biridir. 3D modelleme, ışığın yapının yüzeyiyle nasıl etkileşime gireceğini ve gölgelerin nasıl projeleneceğini simüle eder, böylece tasarımcıların farklı ışık senaryolarını gözlemlemelerine olanak tanır. Bu, şunları sağlar:

Işık Seçenekleri: Işık, doğal ışıktan yapay ışığa ve spot ışıklara kadar her şey olabilir. Bu, tasarımı göz önünde tutarak elementleri dengelemeye yardımcı olur.

Gölge ve Derinlik: Işık ve gölge birlikte tasarıma derinlik katar; bir yapıda, tasarım daha dinamik ve görünür hale gelir ve katmanlar ekleyerek derinlik kazanır.

c. Gelecek Yönelimli Estetik İnovasyonu

Modelleme, en yenilikçi estetik önerilerin hızlı bir şekilde prototiplenmesine ve test edilmesine olanak tanır. Bu sayede, daha önce hayal edilemeyen görsel stiller ve formlar mümkün hale gelir. Bunu bir örnekle açıklamak gerekirse: Dijital modelleme sayesinde organik şekiller, biyo-mimari unsurlar veya karmaşık geometrik yapılar fikirden gerçeğe dönüştürülebilir. Ayrıca, çevresel estetik uyum da simüle edilebilir, bu da tasarımcılara görsel olarak daha çekici çözümler üretme konusunda büyük bir güç sağlar.

d. Görselleştirme ve Sunum

3D modelleme, bir yapının en iyi estetik potansiyelini görselleştirmeye olanak tanır. Tasarımcılar, projelerini daha etkili bir şekilde müşterilere ve paydaşlara sunabilirler. Yüksek kaliteli görselleştirmeler kullanarak projeye olan ilgiyi artırabilir ve güçlü bir estetik etki yaratabilirler.

e. Estetik ve Fonksiyonel Uyum

Estetik, sadece görünümle ilgili değildir; geniş bir anlamda, fonksiyonellik ve kullanıcı deneyimiyle de ilişkilidir. Endüstriyel mimaride, modelleme süreci tasarımcılara estetik ve fonksiyonallığı aynı anda optimize etme imkânı verir. Kullanıcılar mekânı deneyimlerken estetik açıdan hoş bir etki yaratmak, onların bu yapıya olan bağlılıklarını artırabilir.

Endüstriyel mimaride modellemenin ana rolü, estetik değerleri artırmaktır. Görsel unsurları daha iyi test edebilir, yenilikçi estetik çözümler üretebilir ve bunları çevreyle uyumlu hale getirebilirler. 3D modelleme, sadece estetik değil, aynı zamanda fonksiyonel değerleri de zenginleştirirken, tasarım sürecinin verimliliğini ve başarısını da artırır.

Ergonomi ve Kullanıcı Deneyimi: Endüstriyel tasarımda her zaman sade ve ergonomik bir tasarım önceliklidir. Mimari modelleme, bir ürünün fiziksel boyutlarını ve ergonomik yapısını analiz etme fırsatı sağlar. Kullanıcıların ürünle nasıl etkileşimde bulunacaklarına dair bilgiler, tasarım sürecinde gerekli ayarlamaların hızla yapılmasına yardımcı olur.

Şekil-3 Ergonomi ve Kullanıcı Deneyimi



Ergonomi ve kullanıcı deneyimi, endüstriyel tasarımın önemli unsurlarındandır çünkü ürünlerin kullanıcılarla olan etkileşimi—kullanım kolaylığı ve konfor—ürünün başarısını belirler. Basit ve ergonomik bir endüstriyel tasarım yaklaşımı, kullanıcıların fiziksel ve psikolojik ihtiyaçlarını karşılamayı hedefler, böylece maksimum kullanıcı deneyimi sağlanır. Mimari modelleme bu süreci daha verimli hale getirir ve tasarım aşamasında değişiklik yapmayı çok daha hızlı hale getirir.

a. Fiziksel Boyutlar ve Ergonomik Yapı Analizi

Mimari modelleme, tasarımcıların fiziksel boyutları ve ergonomik yapıyı sanal ortamda analiz etmelerini sağlar. Geleneksel tasarım süreçlerinde, ergonomik özelliklerin ve boyutların test edilmesi yalnızca fiziksel prototiplerle mümkün oluyordu. Ancak 3D modelleme ile bu unsurlar hemen gözlemlenebilir ve test edilebilir. Bu, tasarımcıların kullanıcıların ürünle fiziksel etkileşimlerini anlamalarına yardımcı olur.

Boyutlar ve Ölçümler: Ürünün doğru boyutlarını bilmek, kullanıcının ürünü rahatça kullanabilmesini sağlar. Örneğin, bir

sandalye için oturma yüksekliği, masa için çalışma yüksekliği veya herhangi bir cihazın yerleşim açısı gibi tasarımlar yapılabilir. Başka bir deyişle, ürünler, kullanıcının ergonomik ihtiyaçları göz önünde bulundurularak tasarlanabilir.

Kollar, Bacaklar ve Vücut Pozisyonu: 3D modelleme, tasarımcıların vücut pozisyonlarına göre ayarlamalar yapmalarına olanak tanır. Bir sandalye sırt yaslama açısı, masa ayaklarının yerleşimi veya bir aracın direksiyonunun yüksekliği gibi unsurlar, diğital ortamda test edilerek kullanıcı konforunu garanti edecek en uygun pozisyonlar belirlenebilir.

b. Kullanıcı Etkileşimi Simülasyonu

Ergonomik tasarımda, kullanıcıların ürünle nasıl etkileşime gireceğini anlamak çok önemlidir. Mimari modelleme, tasarımcılara bu etkileşimleri simüle etme imkânı tanır ve kullanıcıların ürünü nasıl hareket ettirip etkileşimde bulunacaklarını görselleştirmelerini sağlar. Bu, şu şekilde avantajlar sunar:

Hareket Yolları ve Etkileşim: Kullanıcıların ürünü kullanırken yapacağı hareket yolları, modelleme aşamasında test edilebilir. Örneğin, sandalye tasarımında, kullanıcıların oturma, kalkma ve rahatça hareket etme şekilleri sanal ortamda test edilebilir. Bu, tasarımın ergonomik uyumunu garanti eder.

Kontrol Yerleşimi: Tasarım sürecinde kullanıcı arayüzleri, düğmeler ve fiziksel etkileşimler test edilebilir. Kontrollerin yerini, boyutunu ve şekillerini optimize ederek kullanıcıların bunlara rahatça ulaşmalarını sağlamak mümkün olur.

c. Kullanıcı Geri Bildirimi ve Hızlı İterasyon

Mimari modelleme, tasarımcıların kullanıcı geri bildirimlerini tasarıma hızla entegre etmelerini kolaylaştırır. Diğital prototipler ve simülasyonlarla tasarım süreci daha esnek hale gelir. Kullanıcı geri bildirimlerine dayalı değişiklikler, fiziksel prototipler

yapmak yerine çok daha hızlı ve maliyet etkin bir şekilde yapılabilir. Bunun sonucunda:

Hızlı Prototip Değişiklikleri: Fiziksel bir prototip oluşturulduğunda, tasarımda yapılacak değişiklikler zaman alıcı ve maliyetli olabilir. Ancak 3D modelleme ile, geri bildirim alındığında değişiklikler hızla uygulanabilir ve test edilebilir.

Kapsamlı Kullanıcı Testleri: Dijital modeller üzerinde yapılan kullanıcı testleri, ergonomik uyum ve kullanım kolaylığı hakkında değerli veriler sağlar. Bu testler, kullanıcıların ürünü nasıl kullanacakları hakkında net bilgiler sunarak tasarımda yapılması gereken düzeltmeleri yönlendirir.

d. Konfor ve Estetik Uyum

Ergonomi sadece fiziksel rahatlıkla ilgili değildir; estetik unsurlar da kullanıcı deneyimini etkiler. Bir ürünün görsel çekiciliği, kullanıcıların ürüne olan duygusal bağlarını güçlendirir ve ürünü kullanırken daha olumlu bir deneyim yaşamalarını sağlar. Mimari modelleme, tasarımcıların ergonomik ihtiyaçlarla estetik unsurları uyumlu hale getirmelerine yardımcı olur.

Ergonomi ve Estetiğin Entegre Edilmesi: Bir ürün, sadece konforlu olmakla kalmamalı, aynı zamanda estetik olarak da tatmin edici olmalıdır. 3D modelleme, ergonomik ve estetik unsurları birleştirerek, hem işlevsel hem de görsel açıdan hoş ürünler tasarlanmasını sağlar.

e. Kullanıcı Deneyiminin İyileştirilmesi

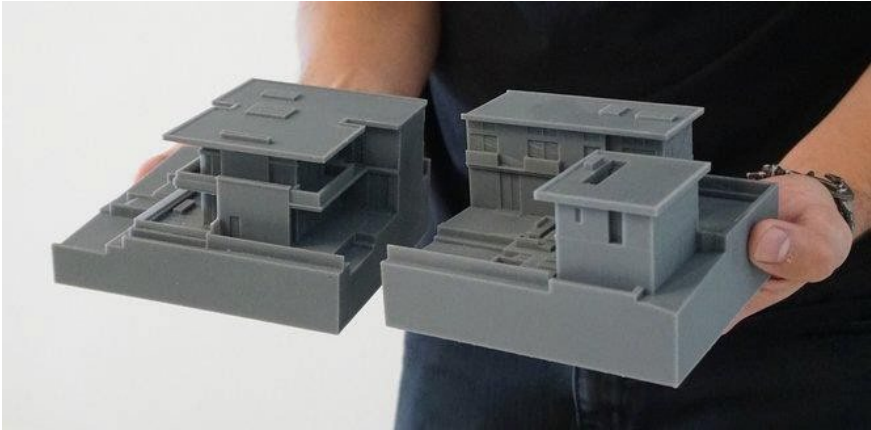
Ergonomik tasarım, doğrudan kullanıcı deneyimini iyileştirir. Tasarımcılar, modelleme kullanarak her bir ögenin, ürünün kullanıcı ihtiyaçlarına nasıl hizmet edeceğini inceleyebilir. Bu, son ürünün daha kolay ve konforlu kullanılmasını sağlar, böylece pazarda başarı şansını artırır.

Sonuç

Ergonomi ve kullanıcı deneyimi, endüstriyel tasarımda son derece önemli bir rol oynar. Mimari modelleme, tasarımcılara kullanıcı etkileşimlerini, ergonomik ihtiyaçları ve estetik unsurları verimli bir şekilde analiz etme ve optimize etme imkânı sunar. Sonuç olarak, tasarımlar daha verimli, estetik açıdan çekici ve kullanıcı dostu olur.

Prototip Üretiminde Zaman ve Maliyet Tasarrufu: Dijital modelleme yaklaşımı, fiziksel olarak üretilmeden önce sanal prototipler oluşturulmasına olanak tanır. Bu, ürün üzerindeki tasarım kusurlarını önceden tespit etme fırsatı sunar, böylece üretim sürecinde çokça zaman ve maliyet tasarrufu sağlanır. Ayrıca, farklı malzemeler ve üretim teknikleri üzerinde test yapmak için de kullanılabilir ve bu, üretimde çok daha verimli hale gelinmesini sağlar.

Şekil-4 Prototip Üretiminde Zaman ve Maliyet Tasarrufu



a. Prototip Üretiminde Zaman ve Maliyet Tasarrufu: Dijital modelleme yaklaşımı, üretim sürecine başlamadan önce sanal prototipler oluşturma imkânı sunar. Tasarım hatalarını çok erken bir aşamada tespit etme olasılığı oldukça büyüktür, bu da üretim sürecinde önemli ölçüde zaman ve maliyet tasarrufu sağlar. Ayrıca,

Üretim sürecinde farklı malzemeler ve tekniklerin test edilmesi için de kullanılabilir ve bu, üretim sürecini çok daha hızlı hale getirir.

Dijital modelleme, tasarımın sanal bir ortamda görselleştirilmesini sağlar. Bu, tasarımcıların ürünü fiziksel olarak üretmeden önce her küçük ayrıntısını analiz etmelerine yardımcı olur. Kullanıcı etkileşimi, ergonomik uyumluluk, malzeme seçimi ya da üretim süreci gibi her şey sanal ortamda test edilebilir. Bu süreç, tasarımdaki hataları, örneğin montajda uyumsuz ya da yanlış parçaları, ya da operasyonel kusurları ortaya çıkarır ve prototip üretiminden önce gerekli düzeltmeler yapılmasını sağlar. Sonuç olarak, fiziksel prototiplerin üretimi sırasında zaman alıcı ve maliyetli hatalar engellenmiş olur.

b. Farklı Malzemelerin ve retim Tekniklerinin Test Edilmesi

Dijital modelleme ile farklı malzemeler ve üretim teknikleri sanal ortamda test edilebilir. Bu, tasarımcıların çeşitli malzeme kombinasyonları ve üretim yöntemleri ile denemeler yaparak en verimli ve uygun çözümü seçmelerine yardımcı olur. Örneğin, bir ürünün dayanıklılığı veya ağırlılığı kullanılan malzemeye göre değişebilir. Dijital modellerde bu etkileşimlerin simüle edilmesi, nihai ürünün nasıl performans göstereceği hakkında önemli bilgiler sağlar ve böylece üretimde ekstra malzeme kullanımından veya kayıplardan tasarruf edilir.

c. Tasarım Değişikliklerinin Hızlı Uygulanması

Dijital modelleme, tasarım sürecinde esneklik sağlar. Fiziksel bir prototipte yapılan her değişiklik çok zaman alır ve maliyetlidir, ancak dijital modellerde değişiklikler anında yapılabilir. Tasarımcı, herhangi bir seçeneği hızla test edebilir ve tercihlerine göre revize edebilir. Bu şekilde, üretim aşamasına geçmeden önce tasarımda birden fazla optimizasyon yapılabilir. Ayrıca, test sırasında herhangi bir değişiklik gerektiği fark edildiğinde, dijital modelde bu

değişiklik hızlıca yapılabilir, fiziksel prototipleme için zaman ve para kaybı yaşanmaz.

d. Hızlı Prototip Üretimi ve Simülasyon

Dijital modelleme, sanal prototip üretimini hızlandırır. Bu da hızlı prototip üretimi ve daha düşük maliyetlerle ilgili birçok fırsat sunar. Özellikle karmaşık tasarımlar için hız çok önemlidir. Dijital modeller, bir ürünün işlevselliği ve estetik özellikleri üzerinde simülasyon yapmaya olanak tanır. Bu simülasyonlar, kullanım sırasında karşılaşılabilecek olası problemleri belirler ve tasarımın buna göre optimize edilmesini sağlar. Bu sayede fiziksel prototip üretildiğinde, daha az değişiklik yapılması gerektiği için zaman ve maliyet tasarrufu sağlanır.

e. Fiziksel Prototiplere Olan İhtiyacın Azalması

Dijital modelleme, fiziksel prototiplere olan ihtiyacı azaltır. Geleneksel süreçlerin çoğu, tasarım aşamalarında fiziksel prototipler gerektirir. Ancak dijital modelleme, tasarımcının çoğu tasarım işini sanal ortamda tamamlamasına imkân tanır ve yalnızca nihai ürün için fiziksel bir prototip üretmeye odaklanmasını sağlar. Bu da, birden fazla prototip yapmaya harcanacak zaman ve maliyetten tasarruf sağlar.

f. Maliyet Tasarrufu ve Verimlilik

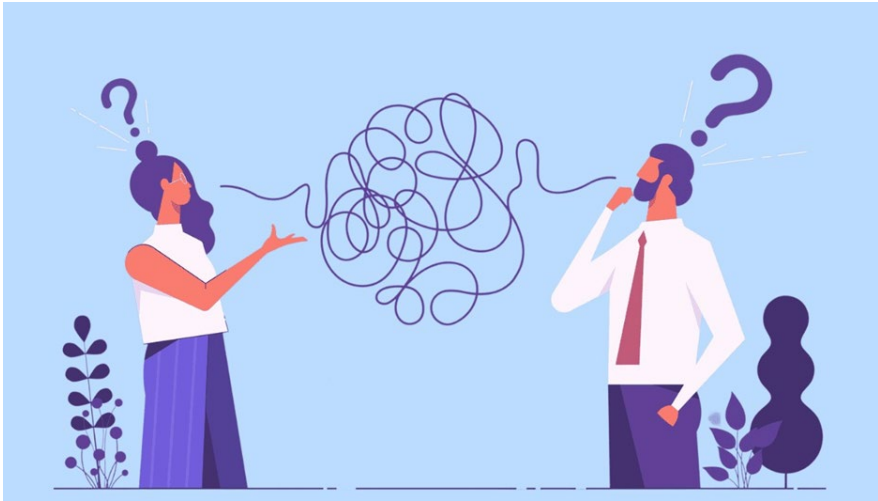
Genel olarak dijital modelleme, üretim sürecindeki verimliliği artırır. Bu teknoloji, prototip tasarımlarının hızla test edilmesine, iyileştirilmesine ve optimize edilmesine olanak tanır, böylece üretim noktasındaki hatalar en aza indirilir. Ayrıca, bu avantajlar, yanlış tasarımlardan kaynaklanan yeniden üretim süreçlerini ya da düzeltme işlemlerini azaltır. Dijital modelleme, bir tasarıma yapılan her değişikliğin üretimde daha iyi verimlilik sağladığını garanti eder.

Sonuç

Dijital modelleme, prototip üretiminde büyük miktarda zaman ve maliyet tasarrufu sağlar. Tasarım hatalarının erken tespiti, farklı malzemelerin ve tekniklerin sanal ortamda test edilmesi, hızlı prototip üretimi ve fiziksel prototiplere olan ihtiyacın azalması, üretimi her iki taraf için de daha hızlı ve ucuz hale getirir. Bu, üreticiler ve nihai kullanıcılar için büyük bir avantajdır.

İletişim ve İşbirliği: Endüstriyel tasarımda mimari modelleme, çok disiplinli işbirliğini sağlar. Bu, tasarımcılar ve üreticiler arasında iletişimi etkili kılar. Tüm taraflar aynı dijital ortamda çalışabildiği için hiçbir yanlış anlaşılma olmadan daha hızlı bir süreç elde edilebilir.

Şekil-5 İletişim ve İşbirliği



İletişim ve İşbirliği: Mimari modelleme, endüstriyel tasarımın bir parçası olarak çok disiplinli işbirliğinin güçlü bir destekçisi olarak hizmet eder. Tasarımcılar ve mühendislerin konseptlerini üreticiler ve diğer ilgili kişilerle etkili bir şekilde iletmelerine yardımcı olur. Tüm taraflar aynı dijital ortamda çalışabildiği için, tasarım süreci daha hızlı ilerleyebilir ve yanlış

anlamalar olmadan daha verimli koordinasyon ve daha hızlı kararlar alınabilir.

a. Gerçek Zamanlı İletişim

Dijital modelleme, farklı paydaşlar arasındaki işbirliğini tek bir platformda, gerçek zamanlı olarak kolaylaştırır. Tasarımdaki değişiklikler hemen tasarımcılar ve mühendisler tarafından görülebilir, böylece onların geri bildirimlerini hızlıca iletmeleri sağlanır. Bu, fiziksel modeller veya geleneksel iletişim yöntemlerinden kaynaklanan gecikmeleri ortadan kaldırır. Ekipler tasarımın iyileştirilmesi üzerine aynı ortamda tartıştığı için, tüm görüşler ve endişeler hızla ve verimli bir şekilde ele alınır.

- Etkili Toplantılar ve Geri Bildirim: Dijital modeller, tasarımın her aşamasının görsel olarak sunulmasına olanak tanır; bu da ekip üyelerinin yapıcı geri bildirimde bulunmalarını çok daha kolay hale getirir. Toplantılar daha odaklı ve verimli olur, katılımcılar doğrudan modelle etkileşime girerler, eskizler veya fiziksel prototipler yerine.

b. Paylaşılan Dijital Alanda Çalışmak

Mimari modelleme, tasarımcılar, mühendisler ve üreticiler gibi farklı uzmanlık alanlarına sahip profesyonellerin aynı dijital platformda birlikte çalışmasına olanak tanır. Bu şekilde, tasarımla ilgili görsel ve fonksiyonel bilgiler tüm paydaşlara sunulur ve yanlış anlamalar ya da çatışmalar önlenmiş olur.

- Uzmanlıkların Sorunsuz Entegrasyonu: Çevrimiçi platformda birlikte çalışmak, her takım üyesinin kendi alanındaki bilgileri kolayca katkı sağlamasına olanak tanır. Tasarımcılar estetik önerilerde bulunabilir, mühendisler yapısal sorunları ele alabilir ve üreticiler bir tasarımın üretilebilirliğini değerlendirebilir. Tüm bu etkileşim, daha uyumlu ve kapsamlı tasarımların ortaya çıkmasını sağlar.

c. Yanlış Anlamaların Azaltılması

Dijital modelleme, geleneksel yöntemlere kıyasla tasarımların çok daha net bir şekilde iletilmesini sağlar. Birçok eskiz veya sözlü açıklamalardan kaynaklanan belirsizlikler, 3D modelin kullanılmasıyla ortadan kalkar. Boyutlar, malzemeler ve işlevsellik, tüm katılımcılar için hemen anlaşılır hale gelir, bu da hata veya yanlış anlamaların önlenmesine yardımcı olur.

-Protokoller Üzerine Görsel İletişim: Dijital model kullanarak, tüm paydaşlar tasarımın nasıl görüneceğini, hissedileceğini ve çalışacağını hemen anlayabilir. Bu, tasarımın erken aşamalarında daha az fiziksel prototip yapılmasını sağlar. Süreçte yer alan herkesin net bir fikri olduğu için, bilinçli kararlar alınmasını sağlar ve fiziksel modellerle deneme yanılma sürecine girmeyi engeller.

d. Daha Hızlı Karar Verme

Dijital modelleme, tasarım sürecini hemen detaylı bilgilerle hızlandırır. Prototiplerin yapılmasını veya detaylar üzerinde uzun toplantılar düzenlenmesini beklemek yerine, ekipler daha hızlı kararlar alabilir.

Hızlı Geri Bildirim Döngüleri: Tasarımdaki değişiklikler, dijital modelde hemen yapılabilir ve paydaşlar tarafından gerçek zamanlı olarak görüntülenebilir. Bu şekilde, özellikle birkaç revizyon gerektiğinde kararlar daha hızlı alınır. Süreç dinamik hale gelir, çünkü tasarımcılar büyük gecikmeler olmadan tasarımın farklı seçeneklerini deneyebilir.

e. Proje Yönetimi ve Takipte İyileşme

Dijital modelleme, proje yönetimini daha verimli hale getirir. Tasarımın ilerlemesi dijital ortamda tamamen belgelenmiş olduğu için, proje yöneticileri gelişim sürecini kolayca takip edebilir,

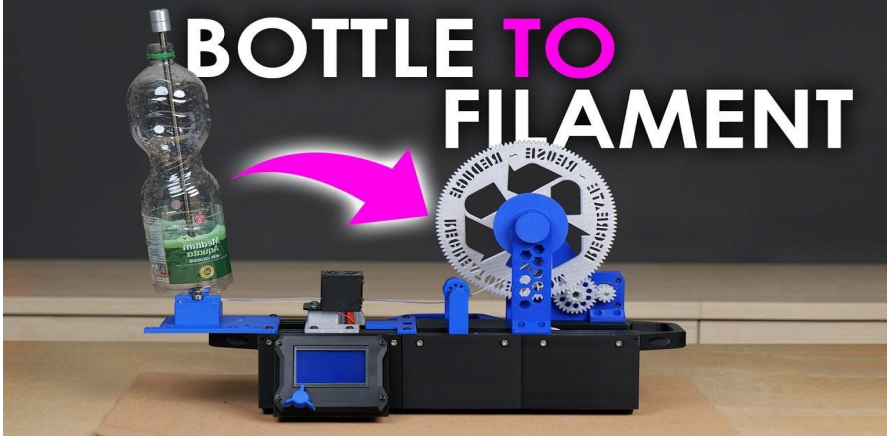
potansiyel sorunları tanıyabilir ve son teslim tarihlerine ilişkin raporlar hazırlayabilir.

Daha Akıllı İterasyon: Herkes aynı ortamda çalıştığından, tasarımın her aşamasının onayı ve iterasyonu inanılmaz derecede hızlı bir şekilde yapılır. Etkili bir çalışma döngüsü, daha hızlı proje tamamlanma süreleri sağlar ve proje sırasında oluşabilecek engellerin erken tespit edilmesine olanak tanır.

Mimari modelleme, endüstriyel tasarımda tüm proje ekibini ve tüm paydaşları tek bir dijital platformda birleştirerek başarılı iletişim ve işbirliği sağlar. Gerçek zamanlı iletişim yapılmasını, yanlış anlamaların önlenmesini ve kararların hızlanmasını sağlar. Bu tür bir işbirliği, tasarım sürecinin verimli bir şekilde ilerlemesini, projelerin daha hızlı ve yüksek kalitede tamamlanmasını sağlar. Böyle bir işbirliği yaklaşımında, tasarımcı, mühendis ve üretici, bir dijital alanda bir araya gelerek bir projenin kavramsal aşamadan gerçeğe dönüşmesine katkıda bulunur.

Sürdürülebilirlik ve Çevresel Farkındalık: Günümüzde sürdürülebilirlik, endüstriyel tasarımın önceliklerinden biridir. Mimari modelleme, tasarımcıların ürünlerinin çevresel etkisini gözden geçirmelerine ve test etmelerine olanak tanır. Dijital simülasyon kullanarak enerji tüketimi, malzeme kullanımı ve geri dönüştürülebilirlik gibi çevresel etkilerin değerlendirilmesi daha yeşil ve sürdürülebilir bir gelişimi mümkün kılar.

Şekil-6 Sürdürülebilirlik ve Çevresel Farkındalık



Sürdürülebilirlik ve Çevresel Farkındalık: Günümüzde Endüstriyel Tasarımın önemli odak noktalarından biri sürdürülebilirliktir. Mimari modelleme, tasarımcıların dünyaya sunmak istedikleri ürünün çevresel etkilerini gözden geçirmelerine ve test etmelerine önemli bir yardımcı olur. Sanal testler yardımıyla, daha yeşil ve sürdürülebilir ürünler geliştirilmesinde, enerji tüketimi, malzeme kullanımı ve geri dönüştürülebilirlik gibi çevresel etkiler incelenebilir.

a. Enerji Tüketimi Analizi

Mimari modelleme, bir ürünün yaşam döngüsündeki farklı aşamalarda enerji kullanımını simüle etmeyi mümkün kılar. Tasarımcılar, ürünün kullanım aşamasında enerji verimliliğini dijital olarak modelleyebilirler. Örneğin, ev aletleri veya araçlar, enerji akışını simüle ederek yalıtım veya motor gibi özellikleri optimize ederek enerji verimliliği testlerine tabi tutulabilir. Bu tür simülasyonlar, tasarımcıların enerji tüketimini iyileştirmek için potansiyel alanları belirlemelerini sağlar ve böylece operasyonel yaşam süresi boyunca karbon ayak izini azaltır.

- Ürün Enerji Kullanımı Simülasyonu: Bir ürünün tasarım aşamasındaki enerji kullanımının modellenmesi, tasarımcıların gereksiz enerji tüketimini azaltmasını kolaylaştırır. Bu, tasarımcıların minimum güç kullanarak daha verimli ürünler yapmasına olanak tanır ve çevreye olan potansiyel zararı en aza indirir.

b. Malzeme Kullanımı ve Atık Azaltma

Dijital modelleme, üretim başlamadan önce malzemelerin en verimli şekilde kullanılmasını test etmeyi sağlar. Tasarımcılar, hangi malzemenin çevresel etkiler açısından en az zararlı olduğunu ve ürünün performansını ve dayanıklılığını sürdürebileceğini görmek için farklı malzemeleri test edebilirler. Ayrıca, üretim için gereken malzeme miktarının simülasyonu, çoğu üretim sürecindeki atıkları önlemeye yardımcı olur.

Malzeme Optimizasyonu: Sanal modelleme, biyolojik olarak parçalanabilen, geri dönüştürülebilen veya sürdürülebilir malzemeler gibi çevre dostu malzemelerin seçilmesine yardımcı olur. Bu, malzeme israfını en aza indirirken, ürünün işlevselliğini sağlamak için kritik bir adımdır.

Atık Yönetimi Simülasyonu: 3D modelleme, üretim sürecindeki atıkları azaltmak için simülasyon yapma imkanı sağlar. Gerekli malzeme miktarının doğru bir şekilde hesaplanması, aşırı üretimi engeller ve çevresel etkiyi azaltmak için anahtar bir rol oynar.

c. Geri Dönüşüm ve Yaşam Döngüsü Analizi

Dijital modellemenin belki de en büyük avantajı, yaşam döngüsü değerlendirmelerini (LCA) gerçekleştirmesidir. LCA, bir ürünün çevresel etkilerini, hammaddelerin temininden üretime, kullanıma ve nihayetinde atık veya geri dönüşüme kadar analiz etme yaklaşımıdır. Mimari modelleme, tasarımcılara, bir ürünün yaşam

döngüsünün sonunda geri dönüştürülmesi için ne kadar kolay sökülebileceğini görme imkanı tanır. Bu, daha kolay geri dönüştürülebilir veya parçaları yeniden kullanılabilen ürünlerin tasarlanmasında yardımcı olur.

Ömür Sonu Planlaması: Bir ürünün geri dönüşümünü erken tasarım aşamalarında simüle ederek, tasarımcılar daha kolay sökülebilen, malzemeleri ayırabilen ve bileşenleri yeniden kullanabilen ürünler tasarlayabilir. Bu, ürünlerin ömrünü uzatarak ve atıkları azaltarak döngüsel ekonomiye katkı sağlar.

d. Yeşil Üretim Süreçleri

Ürün seviyesindeki sürdürülebilirliğin yanı sıra, mimari modelleme, üretim sürecini daha sürdürülebilir hale getirmek için de faydalı olabilir. Örneğin, dijital simülasyonlar, enerji tüketimini ve atığı azaltan üretim süreçlerinin değerlendirilmesini sağlamak için kullanılabilir. Üretim hattının düzeninin yeniden tasarlanmasından daha sürdürülebilir üretim tekniklerinin seçilmesine kadar, mimari modelleme üretim yöntemlerini daha yeşil bir sürece yönlendirebilir.

Verimli Üretim Sistemleri: Modelleme süreci, yalnızca ürün tasarımını optimize etmekle kalmaz, aynı zamanda üretim sürecindeki iş akışını da optimize edebilir. Bu, üretim süreçlerinde enerji tüketimi, emisyonlar ve malzeme israfını azaltarak en sürdürülebilir uygulamaların kullanılmasını sağlar.

e. Sürdürülebilirlik İçin Tasarım

Dijital prototipleme, tasarımcıların fiziksel prototiplere geçmeden önce enerji verimli tasarımlar, geri dönüştürülebilir bileşenler ve sürdürülebilir malzemeler gibi çeşitli çevre dostu seçenekleri göz önünde bulundurmalarını sağlar. Bu süreç sayesinde, ürün geliştirme daha döngüsel ve sürdürülebilir hale gelir. Tasarım ekipleri, fiziksel prototiplere dayanarak hata ve deneme yöntemiyle değil, çevresel açıdan bilinçli kararlar alarak tasarımlarını yaparlar.

Yeşil Tasarım Çözümleri: Sürdürülebilirlik ilkelerini tasarım aşamasına entegre ederek, tasarımcılar çevreye daha az zarar veren ürünler yaratabilir. Tasarımcılar, ürünün sürdürülebilirlik açısından çeşitli yönlerini dijital olarak simüle etme yeteneği sayesinde çevresel etkiyi en aza indirmek için tasarım üzerinde test yapabilirler.

Sonuç

Mimari modelleme, enerji tüketimi, malzeme kullanımı, geri dönüşüm ve üretim süreçlerinin simülasyon ve test edilmesini sağlayarak endüstriyel tasarımda sürdürülebilirlik ve çevresel farkındalığı teşvik eder. Tasarım sürecindeki dijital simülasyonlar, tasarımcıların daha iyi performansa sahip, sürdürülebilir ve yeşil tasarıma daha yakın ürünler üretmelerini sağlamak için bilinçli kararlar almalarına olanak tanır.

İnovasyon ve Yaratıcılık: Mimari modelleme, tasarımcıların farklı seçenekleri deneyerek oldukça yaratıcı olmalarına imkan tanır. Sanal deneyler, alışılmadık tasarım fikirlerinin ve yeniliklerin ortaya çıkmasına olanak tanır. Bu süreç, tasarımın daha önce keşfedilmemiş yönlerini test etmeyi sağlayarak inovatif çözümler geliştirilmesine katkı sunar.

Şekil-7 İnovasyon ve Yaratıcılık



İnovasyon ve Yaratıcılık: Mimari modelleme, tasarımcılara çeşitli seçenekleri test etme ve oldukça yaratıcı olma fırsatı sunar. Sanal deneme süreci, alışılmadık ve yenilikçi tasarım fikirlerinin ortaya çıkmasına olanak tanır. Bu şekilde, yenilikçi çözüm arayışı, tasarımın daha önce test edilmemiş yönlerini keşfetmeye yardımcı olur.

a. Sanal Denemeler ve Farklı Tasarım Seçenekleri

Mimari modelleme, farklı tasarım seçeneklerini hızla test etme olanağı sağlar. Malzemeler, formlar, renkler ve yapısal düzenlemeler gibi faktörler sanal ortamda kolayca değiştirilebilir ve her bir olasılığın sonucu kısa sürede görülebilir. Tasarımcılar, fiziksel prototipler üretilmeden önce birçok alternatifi test edebilir, bu da zamanı azaltır ve maliyetleri tasarruf sağlar. Ayrıca, dijital ortamda değişiklik yapma özgürlüğü, tasarımcılara daha önce düşünülmemiş yaratıcı çözümleri test etme imkânı verir.

-Tasarım İçin Farklı Yolları Test Etmek:Mimari modelleme, tasarımcıların alternatif tasarımları hızlıca görmelerini sağlar ve her bir alternatifi karşılaştırmalarına olanak tanır. Dijital modelleme, her tasarımın avantajlarını ve sorunlarını değerlendirmelerine yardımcı olur. Bu, tasarımcının tasarımın en yaratıcı ve yenilikçi yönlerini keşfetme fırsatı verir.

b. İnovatif Tasarım Fikirlerinin Geliştirilmesi

Dijital modelleme, en fantastik fikirlerin gerçek hayata geçirilmesine olanak tanır. Alışılmadık malzemeler ve şekillerle denemeler yapılabilir, geleneksel tasarım sınırları aşılabılır ve tamamen yeni fikirler ortaya çıkabilir. Hayal gücünü bu tür baskılardan özgürleştirmek, yeni çözümler üretmek için güçlü bir motivasyondur. Ayrıca, dijital testlerin erken aşamaları, bu tür fikirlerin ne kadar pratik ve uygulanabilir olduğunu gösterir.

İnovatif Yapı ve Form Tasarımı: Mimari modelleme, yenilikçi yapıların ve formların tasarımında büyük yardımcıdır. Tasarımcılara, geleneksel yöntemlerle tasarlanamayan yeni ve yenilikçi şekilleri deneme fırsatı verir. Form ve yapıdaki esneklik, estetik açıdan benzersiz ve teknolojik olarak ileri düzey tasarımlar oluşturma olasılığını açar.

c. Karmaşık ve Benzersiz Yapıların Tasarlanması

Mimari modelleme, karmaşık ve benzersiz yapıların tasarımı için mükemmel bir araçtır. Geleneksel yöntemlerle tasarımı oldukça zor olan geometrik açıdan karmaşık şekiller, dijital ortamda kolayca yaratılabilir ve test edilebilir. Bu şekilde, tasarımcılar estetik ve aynı zamanda teknolojik olarak yenilikçi yapılar oluşturabilir. Dijital ortamda yapılan simülasyonlar, bu tür karmaşık yapıların işlevselliğini ve dayanıklılığını test etmeye de katkı sağlar.

Yaratıcı ve Estetik Tasarımlar: Dijital modelleme, tasarımcıların daha önce fiziksel olarak kavramsallaştırması zor olan tasarımlar geliştirmelerini sağlar. Bu şekilde, tasarımda yaratıcı ve yenilikçi estetik özelliklerin eklenmesi sağlanır.

d. Fiziksel Sınırlamaların Aşılması

Fiziksel üretim süreçleri, tasarımcıları malzeme, üretim teknikleri ve fiziksel sınırlamalar konusunda kısıtlar. Ancak dijital modelleme, tüm bu sınırlamaları aşma fırsatı sunar. Tasarımcılar, fiziksel kısıtlamalar göz önüne alınmadan tasarıma odaklanabilirler ve bu da daha yenilikçi tasarımlar yaratmak için daha fazla özgürlük sağlar. Sonuç olarak, daha inovatif ve alışılmadık tasarımlar ortaya çıkar.

Sınırsız Tasarım Olanakları: Fiziksel engellerden bağımsız olan dijital ortamlar, oldukça karmaşık ve yenilikçi yapıları kolayca yaratmaya olanak tanır. Bu tür yapılar, fiziksel olarak gerçekleştirilmesi oldukça zor veya imkansız olan tasarımlardır.

e. Hızlı Prototip Oluşturma ve İnovatif Çözümler

Mimari modelleme, tasarımcılara çok kısa bir sürede prototip oluşturma ve tasarım sürecini hızlandırma olanağı verir, böylece inovatif çözümler daha hızlı test edilebilir. Dijital ortamlarda yapılan sanal testler, tasarımcıların yaratıcı fikirlerini hızlıca gerçeğe dönüştürmelerine yardımcı olur. Bu, tasarımların daha hızlı gelişmesini ve daha pratik inovatif çözümler üretmesini sağlar.

Yaratıcı Hız: Dijital formatta prototiplere sahip olmak, tasarımcıların fikirlerini hızla gerçeğe dönüştürmelerine yardımcı olur, böylece inovatif çözümleri hızlandırır ve tasarım sürecini daha yaratıcı hale getirir.

Sonuç

Mimari modelleme, tasarımcılara yaratıcılıklarını ve yenilikçiliklerini ifade etme fırsatı sunar. Sanal testler, alışılmadık ve yenilikçi tasarım fikirlerinin gelişmesini sağlar ve tasarım sürecini daha hızlı ve verimli hale getirir. Hem estetik hem de fonksiyonel çözümleri bulma süreci, yaratıcılığın sınırlarını zorlamaya yardımcı olur, tasarımcılara yeni olanakları keşfetme ve gerçekten çığır açıcı tasarımlar üretme fırsatı verir.

Endüstriyel tasarım sektöründe mimari modelleme, kapsamlı ürün geliştirme sağlayan çok yönlü bir araçtır. Mimari modelleme, tasarımcılara dijital ortamda işlevsellik, estetik sorunlar, ergonomi ve sürdürülebilirliği test etme fırsatı sunarak ürünleri daha kullanıcı dostu, estetik açıdan başarılı ve çevreye duyarlı hale getirir. Mimari modelleme, daha hızlı, maliyet açısından verimli ve sürdürülebilir endüstriyel tasarım süreçlerine katkı sağlar.

KAYNAKÇA

Algoritma, (t.y.). Wikipedia içinde. Erişim adresi: <http://tr.wikipedia.org/wiki/Algoritma>, (Erişim tarihi: 25.06.2013)

Akipek, F. (2007). Bilgisayar Destekli Tasarım ve Üretim Teknolojilerinin Mimarlıktaki Kullanımları. Megaron YTÜ Mim. Fak. E-Dergisi, Cilt 2, Sayı 4.

Çinici, Ş.Y. (2012). “Computation” Çevirisi ve Anlaması Kolay Olmayan Dil, Düşünce ve Mimarlık, Dosya Dergisi, 29. Sayı TMMOB mimarlar odası Ankara şubesi, Kasım 2012, ss. 12-19.

Denning, P. (2009). Beyond Computational Thinking. Communications of the ACM, Vol. 52 No. 6, June 2009, ss. 28-30.

Erdoğan, E. ve Gönenç Sorguç, A. (2011). “Hesaplamalı Modeller Aracılığıyla Mimari ve Doğal Biçim Türetim İlkelerini İlişkilendirmek”, ODTÜ Mimarlık Fakültesi Dergisi, 28, ss. 269-281

Parametre. (t.y.). Türk Dil Kurumu güncel Türkçe sözlük içinde. Erişim adresi: <http://www.tdk.gov.tr> (Erişim tarihi: 25.06.2017)

Uzun, A. (2001). Günümüz Ürün Geliştirme Sürecinde Bilgisayar Tabanlı Üçboyutlu Modelleme. Yayımlanmamış Y. Lisans Tezi, M.Ü.G.S.E., İstanbul.

Yazar, T. ve Uysal, S. (2016). Grasshopper ile Parametrik Modelleme. İstanbul: Pusula 20 Teknoloji ve Yayıncılık

<https://www.bbc.co.uk/education/guides/zp92mp3/revision/1> (Erişim tarihi: 27.12.2017)

BÖLÜM 4

UNDERSTANDING LIGHT AND ILLUMINATION: KEY PRINCIPLES

ALİ İŞERİ¹

Introduction

Illumination is the act of placing light on an object, making it visible to the human eye. The presence or absence of light determines our ability to see and interact with the world around us. This chapter explores the principles of illumination, detailing how light is measured, and examining the effects of different lighting conditions on visual performance and comfort.

Light is a crucial part of the electromagnetic spectrum and spans the wavelength range of 380-780 nm. What distinguishes this region is that it corresponds to the wavelengths absorbed by the photoreceptors in the human eye, initiating the process of vision. Without light, this process cannot occur, making objects invisible to us.

¹ Dr. Öğr. Üyesi, Mudanya Üniversitesi, Endüstri Mühendisliği, Orcid: 0000-0002-0340-7039

Measurement of Illumination

The most fundamental measure of the electromagnetic radiation emitted by a source is its *radiant flux*, which quantifies the rate of energy flow in watts. However, when considering human vision, we are more concerned with *luminous flux*. It is an adjustment of the radiant flux by the relative spectral sensitivity of the human visual system across the visible spectrum (380-780 nm). This adjustment accounts for the varying perception of brightness associated with different wavelengths (ISO & CIE, 2023).

The human eye has two types of photoreceptors, each with distinct spectral sensitivities: *cones*, which function primarily in well-lit conditions, and *rods*, which operate under low-light conditions. The luminous flux, therefore, represents the total light output of a source, considering the sensitivity of these photoreceptors. The SI unit of luminous flux is the *lumen* (lm), which quantifies the amount of light emitted by a source per second (CIE, 2020).

For practical lighting applications, it is essential to quantify not just the total light output, but also the light emitted in specific directions. This is measured by *luminous intensity*, defined as the luminous flux per unit solid angle in a specified direction. The unit of luminous intensity is the *candela*, equivalent to one lumen per steradian (CIE, 2020).

Illuminance vs. Luminance

Another critical concept in lighting design is *illuminance*, which measures the luminous flux falling on a unit area of a surface. The SI unit of illuminance is the *lux*, or lumens per square meter (CIE, 2020). Illuminance is a widely used criterion in lighting design, as it directly relates to the amount of light available on a surface for visual tasks.

Another concept is *luminance* which quantifies the brightness of a surface as perceived from a given direction. It is measured in candelas per square meter (CIE, 2020) and is essential for understanding how bright an object appears to the observer.

While the terms illuminance and luminance might sound similar, they refer to different aspects of how light interacts with surfaces and how we perceive it.

Illuminance measures how much light reaches a surface. For example, if a desk lamp shines on your desk, the illuminance quantifies the light available for tasks like reading, writing, or working. This measurement is crucial for ensuring that workspaces, such as desks, classrooms, or offices, have adequate lighting for visual tasks. In practical terms, higher illuminance means better visibility, making it easier to read a book or complete detailed work efficiently.

Luminance, on the other hand, refers to how bright a surface appears to the eye. Using the desk example, it is the light reflected off the desk that reaches your eyes, determining its perceived brightness. Unlike illuminance, which measures the light falling on a surface, luminance depends on both the incident light and the surface's reflectivity. A highly reflective desk will have greater luminance because it reflects more light toward your eyes.

The human visual system is capable of functioning across an expansive range of luminance, spanning approximately 12 orders of magnitude, from 10^{-6} cd/m² (starlight) to 10^6 cd/m² (bright sunlight). However, this entire range cannot be perceived simultaneously. At any given moment, the visual system can effectively process a luminance range of only 2 to 3 orders of magnitude (Boyce, 2012).

Table 1 presents typical illuminance levels for common environments and their corresponding luminance values for typical surfaces in each setting.

Table 1. Typical Illuminance and Luminance Values

Situation	Illuminance on Horizontal Surface (lx)	Typical Surface	Luminance (cd/m ²)
Direct sunlight at noon	100,000	Concrete pavement	6,000
Cloudy day	10,000	Grass	500
Supermarket lighting	1,000	White shelves	250
Classroom	500	Whiteboard	200
Factory floor	300	Metal machinery	50
Street lighting at night	20	Asphalt road	1
Candlelight	1	Wooden table	0.5
Starlight	0.001	Asphalt road	0.0001

Color Properties of Light

Light is not only essential for visibility but also for the perception of *color*, which significantly influences how we experience our environment. The color of light, or the way we perceive it, is defined by three subjective attributes: hue, brightness, and strength (Burns & Shepp, 1988).

- *Hue* is the attribute that allows us to identify colors as red, yellow, green and blue. It essentially describes the dominant wavelength of light that is being perceived.
- *Brightness* refers to the extent to which a color transmits or reflects light. It is closely related to what is known as “value” in color theory, which describes how light or dark a color appears, regardless of its hue.
- *Strength* (also known as chroma) indicates the intensity or saturation of a color, determining whether the color appears vivid or dull.

At the core of color perception is the *spectral power distribution (SPD)* of light reaching the eye (Purves and Beau Lotto, 2003). SPD describes the amount of light emitted at each wavelength across the visible spectrum. The specific distribution of wavelengths determines the color that is perceived by the human eye. For

instance, a light source with a higher concentration of blue wavelengths will appear bluish, while one with more red wavelengths will appear reddish.

However, it's important to note that the perception of color is not solely dependent on SPD. The surrounding environment, including other light sources and the colors of nearby objects, can significantly influence how we perceive the color of a particular light source (Wyszecki & Stiles 2000). This phenomenon is why the same object can appear differently under different lighting conditions.

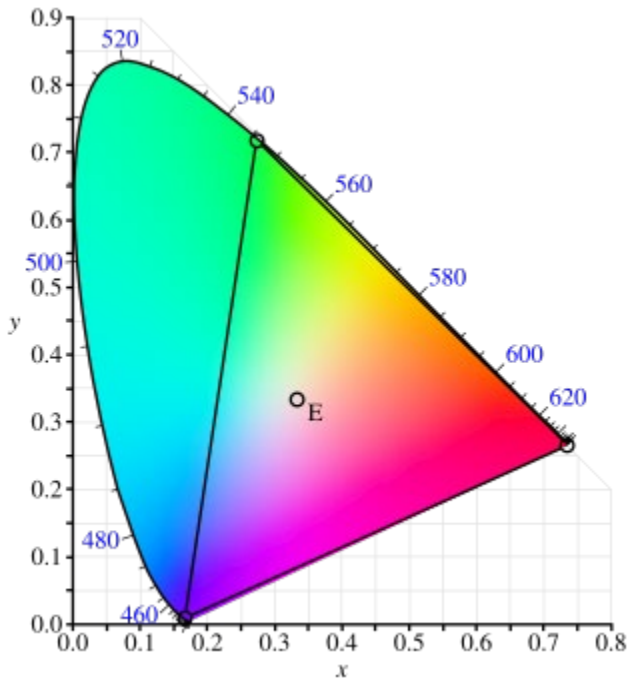
Two-Dimensional Color Surface

To characterize the color appearance of light sources, a two-dimensional color surface is often used. This representation helps in understanding the relationship between different colors and is widely used in both theoretical and practical applications, such as in lighting design and color matching. Typically, the two dimensions correspond to hue and strength, allowing for easy comparison of light sources. One of the most widely used systems for this purpose is the CIE 1931 x-y chromaticity diagram (CIE, 1931), as shown in Figure 1.

Color Temperature

Another crucial aspect of light's color properties is *color temperature*, which describes the appearance of light emitted by a source in terms of its warmth or coolness. Measured in *Kelvin (K)*, color temperature is based on the concept of a blackbody radiator, a theoretical object that emits light purely based on its temperature (Wyszecki & Stiles, 2000).

Figure 1. CIE 1931 x-y chromaticity diagram



Light sources with a low color temperature (below 3000 K) emit a warm, yellowish light, similar to the glow of candlelight or incandescent bulbs. This type of light is often perceived as cozy and comfortable, making it ideal for living spaces.

Light sources with a high color temperature (above 5000 K) emit a cool, bluish light, similar to daylight or overcast skies. This type of light is perceived as energizing and is commonly used in work environments to enhance alertness and productivity.

Color temperature plays a significant role in setting the mood of a space and can affect visual comfort and performance. For example, warmer light is often used in residential settings for relaxation, while cooler light is preferred in offices and other workspaces to promote focus and efficiency (Davis & Ginthner, 1990).

Instrumentation

Accurate measurement of illuminance and luminance is essential in lighting design and research. The two most widely used field instruments for this purpose are illuminance meters and luminance meters (see Figure 2), both of which are designed to match the sensitivity of the human eye under photopic conditions where luminance levels are above 5 candela/m² (ISO & CIE, 2023) and mostly cones are producing visual signals.

Figure 2. a commercial a) illuminance meter and b) luminance meter



Illuminance meters measure the amount of light falling on a surface, expressed in lux (lx). Several key characteristics determine their accuracy and usability:

- **Sensitivity:** The range of illuminances an instrument can measure depends on its intended application. Devices used for daylight measurements must cover a much broader range compared to those designed for interior lighting or night-time conditions.
- **Spectral Response:** To ensure accuracy, illuminance meters must have a spectral sensitivity that closely

matches the CIE standard photopic observer, which represents the average human visual response to different wavelengths of light.

- **Cosine Correction:** Light does not always strike a surface perpendicularly; illuminance meters must account for light arriving from various angles. Proper cosine correction ensures that light from oblique angles is measured according to the cosine law, improving accuracy.

To obtain reliable measurements with illuminance meters, several factors must be considered. The meter should be positioned correctly to ensure that it receives light from the intended sources without obstruction or shadowing. Regular calibration is necessary to maintain accuracy to ensure cosine correction and the spectral response matches the CIE standard photopic observer, as drifting sensors over time can lead to inaccurate readings (Good et al., 2020). Environmental factors such as dirt or dust on the sensor can also impact measurements, so keeping the meter clean is also important.

Luminance meters measure the brightness of a surface as perceived from a specific direction, expressed in candelas per square meter (cd/m^2). Their accuracy depends on:

- **Sensitivity:** The device must be capable of detecting luminance levels across a wide range, from highly reflective surfaces to dimly lit environments.
- **Spectral Response:** Like illuminance meters, luminance meters should match the CIE photopic sensitivity curve to ensure reliable readings.

For luminance meters, the quality of the optical system is crucial, as the instrument must precisely focus on the target surface to minimize stray light interference. The measurement angle should

be carefully selected to ensure that only the intended area is analyzed, avoiding reflections or glare that can distort results. Employing a tripod or other stabilizing instrument can reduce measurement variations due to minor movements, which can be especially significant when measuring small or distant targets. Controlling ambient light and preventing direct sunlight from reaching the meter's sensor will further enhance accuracy. As with illuminance meters, regular calibration is important for maintaining instrument accuracy.

Control of Lighting

Natural light, or daylight, is a combination of *sunlight* and *skylight*, both of which contribute to the total illuminance on Earth's surface.

Daylight intensity and color temperature exhibit significant variations. Illuminance levels can range from 150,000 lx on a bright summer day to 1,000 lx on a heavily overcast winter day. Similarly, the correlated color temperature of daylight can fluctuate between 4,000 K on an overcast day and 40,000 K under a clear blue sky.

To mitigate these variations and facilitate accurate color appearance calculations, the CIE recommends standard spectral distributions for daylight with correlated color temperatures of 5503 K, 6504 K, and 7504 K (Wyszecki and Stiles, 1982).

In both natural and artificial lighting applications, controlling light distribution is crucial for achieving desired illumination levels while minimizing glare. This can be achieved through:

- **Reflection:** Highly specular (mirror-like) reflectors direct light with precision but do little to reduce source luminance, which can cause glare.
- **Refraction:** Lenses can focus or diffuse light, shaping the distribution pattern for different applications.

- Diffusion: Diffusers scatter light in multiple directions, softening shadows and reducing luminance, though they limit precise control over light distribution.

A practical example of light control in architectural settings is the use of roller blinds. These can be adjusted to block direct sunlight while still allowing indirect daylight into a space, reducing glare while maintaining natural illumination. Besides, light shelves, translucent ceiling panels, etched or frosted glass and lampshades are some of the other practical examples that make the control of light much easier in architectural settings.

Visual Comfort

Visual comfort is essential for creating an optimal working and living environment, as poor lighting can lead to eye strain, fatigue, and reduced productivity (Knave, 1984). Various factors, including illuminance levels, glare, flicker, shadows, and reflections, influence visual comfort.

Lighting Conditions

The illuminance required for a task depends on the nature of the work and the precision needed. While national and international standards (e.g., IESNA for US (DiLaura et al., 2011), EN 12464-1:2021) provide recommended illuminance levels for different settings, these recommendations often exceed the minimum needed for basic visual performance to enhance overall comfort and well-being. Effective lighting design should consider both task requirements and user comfort. Table 2 depicts recommended illuminance levels for different settings based on EN 12464-1:2021 standard: “Light and lighting - Lighting of work places - Part 1: Indoor work places”.

*Table 2. Recommended illuminance levels for different settings
based on EN 12464-1:2021 standard*

Task/Activity	Required Illuminance (lx)
General office work (reading, writing, VDT use), conference rooms, libraries (reading areas)	500
Workshops (general)	500
Inspection work (fine)	1000
Educational facilities (classrooms)	500
Hospitals (general wards)	300
Hospitals (operating theatres)	1000

Several factors contribute to the ease and efficiency of visual task performance. These include:

- **Task Detail Size:** Increasing the physical dimensions of task details directly enhances visibility as larger objects are inherently easier to recognize.
- **Luminance Contrast:** The degree of luminance contrast between a task and its immediate background is a critical determinant of visibility. Greater differences in brightness aid differentiation and improve the ease with which the task is distinguished from its surroundings.
- **Visual Differentiation:** Effective visual differentiation from surrounding objects is essential. This can be achieved through variations in size, contrast, color, or shape, enabling the observer to quickly and accurately locate and attend to the relevant information within the visual field.
- **Retinal Image Clarity:** The formation of a sharp retinal image is paramount for optimal visual perception. This requires maintaining appropriate focus and clarity, which can be influenced by factors such as corrective lenses (if required), adequate illumination to support proper lens function, and the absence of visual obstructions that

could impede or distort the incoming light. These factors ensure that the visual information is accurately and effectively projected onto the retina for processing.

Sources of Visual Discomfort

Several visual conditions can contribute to discomfort and reduced visual performance including glare, flicker, shadows, and veiling reflections. Understanding the characteristics and underlying mechanisms of these phenomena is crucial for designing and implementing lighting solutions that prioritize visual well-being and optimize task performance. Their presence in the visual environment can lead to eye strain, fatigue, and decreased productivity.

Flickers:

Flickering lights are a common source of discomfort and distraction (Jaen et al., 2011). While not always consciously noticeable, flicker can cause headaches, visual strain, and reduced concentration.

Some individuals are particularly sensitive to flickers, making it necessary to maintain a safety margin in lighting design. High-frequency control gear for fluorescent and LED lighting significantly reduces flicker and its negative effects. Additionally, mixing light sources powered from different electrical phases can minimize stroboscopic effects.

Glare:

Glare occurs when excessive brightness or high luminance contrast in the field of view reduces visibility or causes discomfort. It can be classified into two categories: disability and discomfort glare

Disability glare directly and measurably reduces visual performance (Theeuwes et al., 2002). It impairs the ability to see clearly, often by scattering light within the eye and reducing contrast.

A common example of disability glare is the temporary blinding effect experienced when facing oncoming vehicle headlights at night. The bright light overwhelms the visual system, making it difficult to see other objects on the road. Similarly, direct sunlight can also cause disability glare, making it hard to see details in a brightly lit environment. Disability glare can be quantified and often leads to safety concerns.

In contrast, *discomfort glare* creates an unpleasant sensation or feeling of annoyance but does not necessarily impair visual acuity in the same direct way. While the person might still be able to see reasonably well, discomfort glare can cause eye strain, fatigue, and headaches. This type of glare arises from overly bright light sources within the field of view, even if they don't directly obscure the task at hand. Examples include excessively bright interior lighting in an office, improperly placed light fixtures that shine directly into the eyes, or reflections off high-luminance surfaces like glossy floors or polished metal. Discomfort glare is more subjective and difficult to measure objectively, but it significantly affects visual comfort and overall well-being (Hamedani et al., 2020).

Minimizing glare requires a multi-faceted approach that addresses both the light sources themselves and the overall visual environment. Properly shielded and well-placed luminaires are essential for controlling the direction and intensity of light, preventing direct light from reaching the observer's eyes. Furthermore, reducing excessive bright contrasts within the visual field is crucial. This can be achieved by selecting luminaires with appropriate light distribution patterns that spread the light more evenly to avoid harsh transitions between bright and dark areas. Increasing background luminance can also help lessen the relative intensity of bright light sources, making them less glaring.

In addition to these strategies, using matte or low-gloss surfaces for walls, ceilings, and furniture can minimize reflected

glare. Regular cleaning and maintenance of lighting fixtures also play a role, as dust and dirt accumulation can worsen glare issues. Finally, incorporating natural daylight where possible, while carefully managing its intensity and distribution, can contribute to a more balanced and comfortable visual environment.

Shadows:

Shadows, while sometimes beneficial in adding depth and dimension to a space, can also be problematic if they obscure important details. The impact of shadows depends heavily on their size, location, and distribution.

In industrial or office settings, large, poorly placed shadows can hinder task performance by concealing critical information or making it difficult to manipulate objects.

To mitigate the negative effects of excessive or misplaced shadows, several strategies can be employed. Light-colored walls and ceilings with a matte or diffuse finish are excellent at bouncing light around a room, filling in shadows and creating a more even illumination to reduce glare.

Task lighting can be used to specifically compensate for local shadowed areas, providing additional illumination where it's needed most. Instead of relying on a single, high-intensity light source, distributing multiple lower-intensity sources throughout the space can create a more even and diffuse illumination, minimizing the formation of harsh shadows. Careful consideration should also be given to the placement of luminaires to ensure that light is directed effectively, and shadows are cast in a way that supports visual tasks rather than hindering them.

Veiling Reflections:

Veiling reflections, a specific type of glare, occur when bright light sources reflect off glossy or semi-glossy surfaces, such as

computer screens, printed materials, or even glossy tabletops. These reflections place a “veil” of brightness over the intended image or text, effectively reducing contrast and making it difficult to see clearly.

This phenomenon can significantly impair visual performance and cause eye strain (Boyce, 2012). Minimizing veiling reflections requires careful consideration of several factors. Adjusting the orientation of work surfaces and screens relative to light sources is crucial. By positioning these surfaces so that they don't directly reflect light from overhead fixtures or windows into the viewer's eyes, veiling reflections can be significantly reduced.

Conclusion

Effective lighting is a critical element in numerous environments, impacting everything from visual performance and safety to mood and productivity.

This chapter has explored several key aspects of lighting, beginning with the fundamental principles of illumination. Various instrumentations used in lighting measurement were discussed, highlighting their functionalities and limitations, and methods for controlling and manipulating light, including the use of reflectors, refractors, and diffusers were examined. Furthermore, the chapter explained the complexities of visual comfort, addressing factors such as glare, flicker, shadows, and veiling reflections, and outlined strategies for minimizing their negative impacts.

By understanding these principles and employing appropriate measurement and control techniques, it becomes possible to design lighting systems that not only meet functional requirements but also prioritize the well-being and comfort of individuals within the illuminated space.

The information presented in this chapter underscores the multifaceted nature of lighting design. It is not simply a matter of providing sufficient light; rather, it requires a holistic approach that considers the relationship between light, the environment, and the human visual system. Optimizing lighting conditions involves careful selection of light sources, luminaires, and surface finishes, as well as strategic placement of lighting fixtures. By addressing the issues discussed, lighting can be transformed from a purely functional aspect of a space into a tool for enhancing productivity, safety, and overall well-being.

Future research and development in lighting technologies and design practices will continue to refine our understanding of these complex relationships and lead to even more effective and human-centered lighting solutions.

References

Boyce, P. R. (2012), "Illumination," in Handbook of Human Factors and Ergonomics, ed. Gavriel Salvendy (John Wiley & Sons, 2012), 673-698.

Burns, B., & Shepp, B. E. (1988). Dimensional interactions and the structure of psychological space: The representation of hue, saturation, and brightness. *Perception & Psychophysics*, 43(5), 494-507.

CIE (1931). Commission Internationale de l'Éclairage: Recueil de Recommandations. Bureau Central de la CIE.

CIE International Commission on Illumination. (2020). CIE S 017:2020 International lighting vocabulary (2nd ed.).

Davis, R. G., & Ginthner, D. N. (1990). Correlated color temperature, illuminance level, and the Kruithof curve. *Journal of the Illuminating Engineering Society*, 19(1), 27-38.

DiLaura, D. L., Houser, K. W., Mistrick, R., & Steffy, G. R. (ed.). (2011). *The Lighting Handbook: Reference and Application*. Illuminating Engineering Society of North America.

Godo, K., Tamura, Y., & Watari, O. (2020). Illuminance meter calibration with an LED spectrally tunable light source. *Lighting Research & Technology*, 52(8), 1009-1019.

Hamedani, Z., Solgi, E., Hine, T., Skates, H., Isoardi, G., & Fernando, R. (2020). Lighting for work: A study of the relationships among discomfort glare, physiological responses and visual performance. *Building and Environment*, 167, 106478.

International Organization for Standardization & Commission Internationale de l'Éclairage. (2023). ISO/CIE 23539:2023—Photometry—The CIE system of physical photometry. ISO.

Jaén, E. M., Colombo, E. M., & Kirschbaum, C. F. (2011). A simple visual task to assess flicker effects on visual performance. *Lighting Research & Technology*, 43(4), 457-471.

Knave, B. (1984). Ergonomics and lighting. *Applied ergonomics*, 15(1), 15-20.

Purves, D., and Beau Lotto R. (2003), *Why We See What We Do: An Empirical Theory of Vision*, Sinauer Associates, Sunderland, MA

Theeuwes, J., Alferdinck, J. W., & Perel, M. (2002). Relation between glare and driving performance. *Human factors*, 44(1), 95-107.

Wyszecki, G., & Stiles, W. S. (2000). *Color science: concepts and methods, quantitative data and formulae*. John Wiley & sons.

Wyszecki, G., and Stiles, W. S. (1982), *Color Science: Concepts and Methods, Quantitative Data and Formulae*, Wiley, New York.

ÜRÜN TASARIMINDA ÜRETİM YÖNTEMLERİ VE MEKAN SORUNLARI

