

YAPI MALZEMELERİNİN TARİHSEL GELİŞİMİ

Prof. Dr. M. Süheyl AKMAN

ÖZET

Yapı malzemesi konuları ve teknolojileri, yapıların tasarımı ve uygulamasında çalışan mühendis ve mimarların öncelikli ve temel sorunlarıdır. İnsanın bugünkü çağdaş uygarlık düzeyinde ileri ve çeşitli niteliklere sahip yapı malzemelerini üretmesi kolay olmamıştır. İnsan yaşamının başlangıcından günümüze kadar uzanan teknik ve bilimsel çabalar, sürekli ve yüzyıllarca süren denemeler günümüzdeki yapı malzemelerinin nitelik ve nicelik zenginliğini sağlamıştır.

İnsan topluluğunun moral değerleri, teknolojik olanakları, bilimsel birikimleri ve sanatsal yapıtları onun uygarlık düzeyinin kanıtlarıdır. Bunların nasıl geliştiğini izlemek, insan olarak yaratılmanın ve yaşamının ne kadar muhteşem ve gurur verici bir olgu olduğunu belirler. Yapı malzemesinin gelişim sürecini incelemek de benzer yönde bir heyecan yaratır.

Bu yazıda insanlığın yapı malzemesi alanındaki muhteşem çabası kronolojik bir düzende özetlenmeye çalışıldı. Özellikle küçümsenilmesi asla kabul edilemeyecek prehistorik çağdaki ve historik çağın başlangıcındaki gelişmeler arkeolojik verilere dayanılarak anlatıldı. Çağımızdaki devrim niteliğindeki son gelişmelere ise kısaca değinildi.

GİRİŞ

İnsanlar yaradılışlarından itibaren malzemeye gerek duymuşlardır. Beyinsel açıdan diğer yaratıklardan üstün olan insan, beslenme, barınma ve korunma için yeterli içgüdü ve beceriye sahip değildir. İnsan bu sorunları, aklını ve çevresindeki malzeme olanaklarını kullanarak çözmek zorundadır. Bugünkü uygar düzeye varmak ve günümüz gereksinmelerine cevap veren malzeme ve araçlara sahip olmak uzun ve zor bir süreçle gerçekleşmiştir. Bu şahane serüveni kavrayabilmek için dünyanın ve insan hayatının ve kültür düzeyinin zaman içindeki evrelerini incelemek gerekir; malzeme teknolojisindeki aşamaları insanın gelişiminden soyutlamak olanak-

sızdır. Konuya açıklık getirmek amacıyla jeolojik-arkeolojik zamanlar süresince insanlığın aşamaları aşağıda basitleştirilmiş bir tablo ile özetlenmiştir. [1,2]

Tablodan görüldüğü gibi dünyanın yaşı 4.6 milyar yıl olarak tahmin ediliyor. İnsanın (pitekantropus) ortaya çıkışı ise sadece 2.5 milyon yıl. Görüldüğü gibi insanın varlığı dünya ömrü içinde onbinde beş (5×10^{-4}) oranında bir süreye yayılmaktadır.

Jeolojik 4. zamanın pleistosen evresi veya tarihsel evre olarak paleolitik çağ pitekantropusun yaşadığı zaman süresidir. Günümüzden 450000 yıl kadar önce ateşi bulan ve mağaraları kendine barınak yapan pitekantropusa homo-sapiens (bilge adam) sıfatı ancak 2.4 milyon yıl sonra, yani zamanımızdan 100000 yıl önce Mezolitik devir başında verilmiş ve kendisi Neandertaliens adını almıştır. Aslında yapılarını ve diğer üretimlerini saptayabildiğimiz insanlar, jeolojik pleistosen buzul devrinin bitmesi ile başlayan Neolitik çağda, günümüzden 10000 yıl önce yaşayan insanlardır. Onların piktografik (resimsel) yazıdan çivi yazısına (Küneiform) geçmeleri ve prehistorik (tarih öncesi) sıfattan kurtularak protohistorik (tarihi yakın) sıfatına erişmeleri için de 5000 yılın daha geçmesi gerekmiştir [3].

Yazımızda malzemenin gelişimi de Neolitik çağdan itibaren ele alınmıştır.

2. NEOLİTİK ÇAĞDA YAPI TEKNOLOJİSİ VE YAPI MALZEMELERİ

Neolitik çağ insan gelişmesinde bir devrimdir. Buzul çağı bitmiş insanlar tahıl üretimine ve hayvanları evcilleştirmeye başlamışlar ve bu nedenle verimli alüvyoner topraklar arayarak mağaralardan uzakta vadi ve ovalara, ırmak kıyılarına, ormanlık bölgelere göçmüşlerdir. İşte bu göçler sonunda barınakların niteliği değişmiş ve farklı malzemeler kullanmak ve üretmek gereği doğmuştur.

Ziraat üretimine geçiş toplumsal yaşamın da başlangıcıdır. Korunmak için sıkışık, birbiri ile bağlantılı ve çevreleri duvarlı kentler meydana getirilmiştir.

Neolitik ve kalkolitik aşamada aşamada büyük toplumsal hareketlerin, göçlerin ve savaşların olduğuna dair kanıtlar yoktur ve toplulukların isimlerini de bilmiyoruz. Bu çağların insanları büyük olasılıkla yerleştikleri alanlarda yaşamlarını sürdürmüşler ve uzak yörelerden gelmemişlerdir.

Bu insanların ilk yapı malzemeleri yakın çevrelerindeki yerel malzemelerdir. Bunlar toprak, orman ürünleri, saz ve saman türü bitkilerdir; yakınlarında dere yatakları olanlar toplama taşları da kullandılar. Bu hammaddeleri şekillendirmek, iyileştirmek için yapılan girişimler malzeme teknolojisinin gelişmesindeki ilk başarılarıdır [4].

3. METAL MALZEMELER ALANINDAKİ İLERLEMELER

Ateşin neolitik çağdan önce bulunması malzeme üretim proseslerinde, özellikle metalurji alanında büyük rol oynamıştır, metalurjik buluşlar insanlara çağ atlatmıştır.

İlk metalurji çalışmalarının inşaat mühendisliği alanında ve taşıyıcı sistemlerde olanak sağladığı söylenemez. Çeliğin taşıyıcı yapı elemanı olarak kullanımı ancak 19. yüzyılda mümkün olmuştur. Bu gecikme, çeliğin çok geç üretilbildiği anlamına gelmez. Sebep üretimin endüstriyel bir teknikle üretilmiş olmasının çok geç olmasıdır.

Yeryüzeyine yakın metal filizlerini mezolitik devri insanları döverecek değerlendirmişlerdir. Bunları ergiterek saf metal üretmek kalkolitik evrede gerçekleştirilmiştir. Günümüzden yaklaşık 6500 yıl önceleri Hazar denizi ve Elburz dağları arasındaki bölgede bakır oksit cevherlerinden ergitme yoluyla bakır elde edilebilmiştir. Derinlerde bakır filizi arayanlar arsenik ile kontamine olmuş bakır sülfid filizlerini eritmişler ve ilk metal alaşımını, bakır+arsenik-, tesa-düfen gerçekleştirmişlerdir. 5000 yıl kadar önce ise bakır filizi ergitilmesi sırasında karışıma kalay filizi katılması tunç alaşımının üretimine imkan vermiş ve tunç çağının başlangıcı olmuştur.

Tablo - Dünyanın Jeolojik Çağları, Teknoloji ve İnsan Niteliğinin Zaman İçinde Gelişimi

Jeolojik çağ ve (süresi)	Period	Dönem ve (süresi)	İnsan Topluluğu		Teknoloji Durumu	
			Nitelik	Günümüze göre Nitelik Aşaması Başlangıcı	Teknoloji Aşaması	Günümüze göre Aşama Başlangıcı
SENOZOİK (65 milyon yıl)	4. Devir (Neojen)	Holosen - Son Dönem (12 bin yıl)			Demir Çağı	3 bin yıl önce
			Historik	4 bin yıl önce		
			Protohistorik	5 bin yıl önce	Tunç Çağı	5 bin yıl önce
					Kalkolitik	7.5 bin yıl önce
			Prehistorik	11 bin yıl önce	Neolitik	11 bin yıl önce
		Pleistosen (Buzul Çağı) (2 milyon yıl)	Homosapiens- sapiens (Kro-manyon)	40 bin yıl önce		
			Homosapiens (Neerdentaliens)	100 bin yıl önce	Mezolitik	100 bin yıl önce
					(Ateş)	450 bin yıl önce
			Homo erectus (pitekantropus)	1.7 milyon yıl önce		
		3. Devir (Neojen+ Paleojen)	Homo-habilis (Pitekantropus)	2.5 milyon yıl önce	Paleolitik	2.5 milyon yıl
MEZOZOİK (160 milyon yıl)	Kretase Jurassik Triassik					
PALEOZOİK (375 milyon yıl)	Permian Karbonifer Devonien Silürien					
PREKAMBRİEN (3500 milyon yıl)						

4700 yıl kadar önce bakır ergitmede ergitici olarak demir kütüğünü kullanmak fikri Mezopotamya'da demir teknolojisini başlatmıştır. Elde edilen demir kütüğü süngerimsi ve gayri saflık içerdiğinden tekrar ısıtmak ve dövmek yoluna gidilmiştir. Bu ısıtma işini odun kömürü ateşinde yapan Doğu Karadenizli bir kavim (Chalibes) demir-karbon oluşumu olan çeliği icat etmiştir.

Metal ergitmede yüksek ve devamlı sıcaklık elde etmek gerekir. Açıkta yakılan ateşlerde ancak 400°C-800°C sıcaklığa erişilebilmiştir. Şaft fırınları, üfleç ve körük sistemi Mısırlılar tarafından 4500 yıl önce geliştirilmiştir [4]. Prehistorik ve protohistorik çağlarda bakır, kalay altın, gümüş, demir, kurşun ve cıva gibi metaller silah, ev araçları, süs panoları vb. alanlarda değerlendirilmiştir. İnşaat sektöründe demir kökenli malzemelerin ankraj ve taş bağlama elemanı olarak kullanılmalarına Yunan ve Roma uygarlıklarında rastlanmaktadır [5].

4. DOĞAL VE YAPAY TAŞ TEKNOLOJİSİ

Paleolitik çağda insanların barınağı taş mağaralardı. Taş bu çağda bir yapı malzemesi değildi; avcılık ve hayvanlardan korunmak amacıyla taşın araçlar üretiliyordu. Mağaralar terkedildikten sonra başlayan barınak inşaat süreci taşı bir yapı malzemesi durumuna getirdi.

İnsanlığın uygarlık aşamalarının tamamlanmasında taşın etkinliği sözcüklere yansımıştır. Litos eski yunancada taş anlamına gelir, litik eki de bu sözcükten üretilmiştir. Uygarlık aşamalarını simgeleyen paleolitik, mezolitik, neolitik, kalkolitik deyimleri de bu etkinliği vurgularlar.

Mezolitik ve neolitik çağlarda önceleri toplama taşlardan yararlanılmış, bunları çamurla bağlayarak duvarlar örülmüştür. Daha sonraları bu taşlar işlenerek şekillendirilmiş, böylece düzgün ve hatta estetik duvarlar inşa edilmiştir. Günümüzde bile hala moloz taş duvar ürettiğimizi anımsamak ilginç bir saptama oluyor.

Bazı toplulukların göçtükleri yörelerde toplama taşların bulunmaması yapay taş üretimini zorunlu kılmış ve ilk yapay taş olan kerpiç icat edilmiştir.

Doğal ve yapay taşların neolitik ve kalkolitik çağlardaki örnekleri bazı arkeolojik kazılardaki bulgulara, Tivrata, Vitruvius'a dayanarak aşağıda verildi.

Ergani'de, Melendiz ırmağı kenarındaki Çayönü kıyılarında duvarların büyük yuvarlak dereyatağı balastları ile örüldüğü saptanmıştır. Duvarlarda harç yoktur, duvarların temeli de yoktur. Amaç konutu zemin yüzeyinden yukarıda tutmaktır. 1000 yıl sonraki konutlarda temel yapımına geçilmiştir.

Aynı tarihlerde kurulmuş olan bir diğer neolitik

yerleşim merkezi, Konya, Tuz Gölü, çevresindeki Çatalhöyük'tür. Burada taş bulunmadığından güneşte kurutulmuş kerpiç bloklardan yararlanılmıştır. Kil mezolitik devirden itibaren kullanılmaktadır; kilden önce çamur topakları (pisse de terra) şeklinde yararlanılmış, uzun yıllar sonra forme bir yapı taşı olan kerpiçe dönüştürülmüştür [3,6].

Ürdün'de Jericho kazılarında kerpiç bloklarla bir tür taşıyıcı perde (paye) yapımı gerçekleştirilmiştir. Ayrıca yerinde dökülen ve kütsel olarak kurumaya bırakılan bölme duvarları ve hatıllar da mevcuttur [7].

Kerpiç, yer döşemesi olarak da kullanılmıştır.

Çayönü'ndeki ilginç buluntularda kerpice büyük boyutlarda prefabrike hatıl olarak tasarlandığı gözlenmiştir [3]. Kerpicein rötesinin büyüklüğü bu yaklaşımın sürdürülmesine olanak vermemiştir. Rötreyi kısaltmak amacıyla kerpicein samanla takviyesine Mısır uygarlığında rastlanır. Günümüzden 3500 yıl önce bu güçlendirme sürecinin varlığı Tivrata'nın Çıkış (Exodus) bölümünde hikaye edilir [8a].

Kerpiçte başka bir uygulama kerpice asfalt katılmasıdır. Babil'de bu yöntem geliştirilmiştir. Çok gelişmiş bir protohistorik uygarlık düzeyindeki Sümerler pişmiş kil yani tuğlayı üretebilmişler. Bu hususu Tivrata'nın tekvin (Genesis) bölümünden öğreniyoruz [8b] (3500 yıl önce). Babil'deki Etemenoki zigguratının içinin kerpiç dışının 15 m. kalınlığında pişmiş tuğla ve 90 m. yüksekliğindeki bu kulenin taban alanının da 90m x 90m olduğu ifade edilmektedir [9].

Kerpiçten tuğlaya geçiş yavaş olmuştur. Mezolitik devirde kili pişirebilen insanın tuğla yapımında gecikmesi şaşırtıcıdır. Halbuki ilk kil pişirme ocaklarından biri Çekoslovakya sınırları içinde bulunmuş ve yaşı 25000 yıl olarak tahmin edilmiştir [4]. Diğer ilginç bir husus kili pişirebilen neolitik insanların başlangıçta çömlek üretememeleridir. Bu nedenle erken neolitik devire akeramik neolitik denilmektedir.

Historik bir topluluk olan ve günümüzden 2600-2800 yıl önce varlıklarını sürdüren Urartuların inşaat mühendisliği ve doğal taş ustalığı alanında çok başarılı eserleri vardır. Mühendis ve mimar olan Kral Menua'nın hala kullanılan 51 km uzunluğundaki taş Şamran kanalı, Eren dağı arkasındaki taşın oyma Keşiş göleti, Van gölü kıyısındaki Sarduri dalgakıranı muhteşem eserlerdir. Dalgakıran ve burcun taşları Edremit'ten getirilen 3x1x1.2 m boyutunda yonulmuş prizmalardır. Çavuştepe kalesinde yontma taşla örülen duvarın yüksekliği 5 m'dir. Bu duvarlarda harç yoktur. Stabilitate taşların ağırlıkları ile sağlanmıştır. Daha eski yıllarda (günümüzden yaklaşık 4600 yıl önce) Mısırlıların 2-2.5 ton ağırlıklı taşlarla

inşa ettikleri bazı piramitlerinde de harç yoktur; taşlar o kadar iyi yontulmuştur ki harca gerek de kalmamıştır. Doğal taş teknolojisinde çok başarılı olan Urartulular kerpici de kullanmışlar fakat pişmiş tuğla üretmemişlerdir. Ancak bu uygarlığı yakarak yok eden Kimmerler ve İskitler Urartuların kerpiç yapılarını tuğlaya dönüştürmüşlerdir [10].

Vitruvius kitabında kerpici tuğlaya tercih etmektedir. O tarihlerde (2400 yıl önce) tuğla üretiminin istenen düzeye varmadığı veya daha dayanıklı yapay taş gereksinime duyulmadığı düşünülebilir. Nitekim Lidya'nın zengin kralı Krezüs'ün ünlü sarayı ve dünyanın yedi harikası arasında sayılan Karya kralı Mausolus'un anıt mezarının taşıyıcı duvarları kerpiçtir [9,5].

5. BAĞLAYICI MADDE TEKNOLOJİSİNİN GELİŞİMİ

İlk çağlarda inşaat teknolojisinin en büyük sorunu bağlayıcı madde olmuştur. Doğal taş, kerpiç ve tuğla duvarların ilk bağlayıcı harcı çamurdur. Çamuru bağlayıcı olarak nitelemek elbette doğru değildir. Prehistorik devirde alçı, bitüm ve bir oranda kireç denenmiştir. Ancak buluşlar oldukça kısır kalmıştır, en büyük zorluk yüksek sıcaklıkların elde edilmesi olmuştur. Havada yakılan ateşler $400^{\circ}\text{C} \sim 800^{\circ}\text{C}$ 'in üstüne çıkmak olanaksızdır. Bu nedenle alçıtaşından alçı elde etmek nispeten kolaydır, zira gerekli sıcaklık sadece 190°C 'dir. Alçı harcı eski Mısır'ın Sakkarra ve Keops piramitlerinin derzlerinde dolgu maddesi gibi kullanılmıştır [11]. Çatalhöyük'te alçıdan duvar kaplama ve süsleme malzemesi olarak yararlanılmıştır. Yine Çatalhöyükte $1 \times 1 \times 0.5$ m boyutunda alçıdan üretilmiş bir sandık bulunmuştur. Bu bulgular neolitik ve kalkolitik çağlardaki bazı toplumların alçıyı bildiklerini kanıtlamaktadır. Alçıtaşı 600°C 'in üzerinde ısıtılırsa elde edilen anhidrit alçı bağlayıcı niteliği yüksek, dış etkenlere dayanıklı bir malzemedir. Günümüzden 3400 yıl kadar önce Mısır firavunu Amenhotep II'nin inşa ettiği Karnak Tapınağı taşları anhidrit alçı ile yerleştirilmiştir, aynı yıllarda Girit'te yapılan Knossos Sarayı'nda da anhidrit kullanılmıştır [2,9,12].

Bugün betonun ve özellikle çimentonun bulunmasında önemli rolü olan kirecin ve kireç betonunun tarihsel serüveni oldukça ilginçtir. Kalker kayalarından oluşan mağaralarda yaşayan paleolitik devir insanları mağaralarda ateş yakarak muhtemelen kireci elde edebildiler, ancak kalsiyum karbonatın kirece dönmesi için gereken 900°C 'i elde edemedikleri için bu düşük nitelikli kireçten yararlanmaları olanaksızdı. Neolitik ve kalkolitik devirlerde de kireç, beyaz badana malzemesi olmaktan öteye geçemedi. Tevrat'ın Tesniye (Deutoronomi) bölü-

münde İsrail kavminin taşları kireçle badana ettikten sonra emirlerin yazılması istenmişti (yaklaşık 3300 yıl önce) [8c]. Aşıklı höyüğünde ve Babil yapılarında kerpiç duvarlar kireçle badana edilmişti [13]. 4500 yıl önce metalurjide kullanmak üzere şaft fırınlar, üfleç ve körük sistemini icat eden Mısırlıların bu yöntemleri kireç üretiminde kullanmadıkları anlaşıyor. Kirecin endüstriyel üretimi günümüzden 600 yıl kadar önce düşey fırınların gelişmesi ile mümkün olabilmektedir. Bütün bu negatif bulgulara karşın kirecin yapay taş yani bir anlamda beton elde etmek üzere neolitik çağda kullanıldığını kanıtlayan ilginç arkeolojik saptamalar vardır. Dünya uygarlık tarihinde çimento ve betonun mucitleri Romalılar ve kısmen Yunanlılar kabul edilir. Romalılar kirecin içine Vezüv volkanı yakınındaki Pozzuoli toprağını katarak bir tür hidrolik bağlayıcı üretmişlerdir, bu bağlayıcı içine kum-çakıl karıştırarak beton elde etmişlerdir. Daha önce Yunanlılar aynı işi kireç ve Thera (Santoren adası) toprağı ile gerçekleştirmişlerdir [5]. Olay puzolanik reaksiyon sayesinde çimentonun ana taşıyıcıları olan kalsiyum silikat ve alüminatları elde edebilmek, böylece suda çözülmeyen daha yüksek dayanımlı bir bağlayıcı elde etmektir. Bu puzolanik etki metakaolene dönüşen pişirilmiş kil (tuğlanın) kirece katılması ile de Yunanlılardan çok önce sağlanabilmektedir. Örneğin Çayönü'nde, İsrail'in Yiftah-El ve Ürdün'ün Jericho bölgelerinde yapılan kazılarda çok yüksek dayanımlı (35 MPa kadar), parlak, iyi sıkışmış yer döşemeleri bulunmuştur [7]. Tarih olarak bu döşemelerin akeramik neolitikte (günümüzden 9000 yıl önce) üretildikleri tahmin edilmiştir. Yapılan mineralojik analizler sonucunda bunların kireç, puzolanik toprak ve pişmiş kil ile kum-çakıl içerdikleri saptanmıştır. Bu bileşim betondur ve Roma'nın tarihsel devrinden çok önce üretilmiştir. Yiftah-El Finikelilerin yaşadığı bir yöredir. Denizci bir kavim olan Finikelilerin kolonisi olan Girit, Rodos ve Kıbrıs adalarında, Teselya'daki Miken uygarlığında da bu tür betonlara rastlanmıştır [5]. Nitekim Vitruvius puzolanlı kireç bağlayıcının içine pişmiş tuğla kırıkları ve tozu katılarak çok daha kaliteli ve aşınması düşük döşemeler elde edildiğini yazmaktadır [5].

Kireç ve tuğla tozu ile üretilen bağlayıcıya Horasan Harcı adı verilmiştir. Batılı araştırmacılar bu harcı da Roma-Yunan buluşu olarak nitelemektedirler [14]. Aslında bu bağlayıcının hangi kavim veya uygarlık tarafından elde edildiği belli değildir. Osmanlılar, Selçuklular ve Bizanslılar yapılarında horasan harcını ve betonunu sürekli kullanmışlardır [15]. Ancak Gizeh piramitlerinde, Asur yapılarında da Horasan harcı vardır. Bu yapı malzemesinin çok bağımsız yörelerde ve farklı zamanlarda inşa edilen yapılarda da varlığı gözlenmiştir. Örneğin Cava güneyin-

deki Bali adasında, Hindistan İndus nehri civarında (Surkhi adıyla), Meksika'da El-Tajin piramidinde Horasan harcı bulunmuştur [16].

6. YAKIN ÇAĞLARDA ÇİMENTO VE BETON TEKNOLOJİSİ

Ortaçağ bağlayıcı maddeler ve yapay yapı taşı teknolojilerinin gelişmesi yönünden karanlık bir çağ olmuştur. İnşaat tekniğinin bu yönüne tekrar ilgi duyulması 18. yüzyılda canlanmıştır. Romalıların puzolanlı kireç bağlayıcısına tekrar dönüşmüştür. İlk araştırmalar marnlı taşların pişirilmesi ile başlamıştır; marn, kil ve kireçtaşı kompoziti bir kayadır. Daha sonra kil ve kireçtaşları belirli oranlarda karıştırılarak üretimler yapılmıştır. 1756 yılında kendini inşaat mühendisi olarak adlandıran John Smeaton İngiltere'de Eddystone deniz fenerini yeniden inşa işini yüklenmiş ve kireci muhtelif puzolanlarla karıştırarak ön deneyler yapmış ve yüksek oranda kil içeren kireçtaşlarının verdiği kireçlerin en iyisi olduğunu tespit etmiştir. Bu kireci İtalya'dan getirilen puzolanla karıştırmış ve harç üretmiştir. Bu tarihlerde Kasımpaşa'da yapılan gemi onarım kuru havuzlarında da kirece puçına katılarak üretilen harçlar kullanılmıştır. (1796-1821). Osmanlılar puzolana puçına adını vermişlerdir [17]. 1796'da İngiltere'de James Parker "doğal bir hidrolik çimento" için patent almış, Fransa'da Vicat 1813'de benzer yolla kil ve kireç taşıyı karıştırıp pişirerek bugün hidrolik kireç adını verdiğimiz bağlayıcıyı üretmiştir. Bu doğal çimentolara Roman Cement (Roma Çimentosu) adı verilmişse de bunların Romalıların çimentosu ile ilgisi yoktur. Hidrolik kireç söndürüldüğünde $\text{Ca}(\text{OH})_2$ sönmüş kireç ve çimentonun ana karma oksiti olan $2\text{CaO} \cdot \text{SiO}_2$ (C_2S , bikal-siyum silikat)'a dönüşür. İnce öğütülmüş kireçtaşını, ince bölümlenmiş kille karıştırıp fırına koyan ve tüm CO_2 gazı uçana kadar pişiren Smeaton bir kitap yazdı ve bu çimentoyla yapılan taşın Portland kasa-basındaki doğal taş kadar mukavim olduğunu söyleyerek bu çimentoya Portland adını da koymuş oldu (1756) [18].

Ne var ki bu doğal çimentolar bugünkü portland çimentoları değildir, hızlı priz yapıyorlardı ve sıcaklık yeterli olmadığından klinkerleşme tam değildi ve öğütme yetersizdi ($450 \mu\text{m}$ - $150 \mu\text{m}$ gibi). Ayrıca düşey fırınlarda üretim süresiz ve yavaştı. İlk dönel fırınlar İngiltere'de 1886'da kullanılmaya başladı, prizi ayarlamak üzere karışıma alçı taşı katılımı ise A.B.D.'de 20. yüzyıl başlarında yapılabildi. Fırın sıcaklığı 1400°C 'nin üstüne çıktı ve incelik ortalama $30 \mu\text{m}$ ve maksimum $90 \mu\text{m}$ mertebesine düşürüldü [19]. Ülkemizde ilk çimento fabrikası Darıca'da 1911'de üretime geçti, su kireci (hidrolik

kireç) ve çimento ürettiyordu. Kapasitesi 20000 ton/yıldı.

19. yüzyıl ve 20. yüzyıl başlarındaki bu öncül çalışmalarından sonra çimento endüstrisinde ve beton teknolojisinde büyük gelişmeler sağlandı ve kimyasal, mineralojik ve mekanik yönden çimento ve beton alanında ileri düzeyde bilimsel araştırmalar yapıldı ve hala yapılagelmekte.

Bu endüstri dalındaki gelişmeler üç ana grupta toplanabilir: Çimento türlerini artırmak, endüstriyel atıkları çimento ve/veya beton üretiminde değerlendirmek, kimyasal katkılarla betonlara belirli özellikler kazandırmak. Bu çalışmalarda ekonominin sağlanması, beton dayanım ve dayanıklılığının yükseltilmesi daima yönlendirici faktörler oldu.

Portland çimentosu klinkerinin bir bölümünü doğal puzolanlarla ikame etmek ekonomik açıdan önemli ölçüde bir yarar sağladığı için çimento türlerinin çeşitlenmesinde ve üretilmesinde öncelik taşıdı. Doğal puzolanlara ülkemizde Alman inşaat kültürünün etkisi ile tras adı verilir, ve doğal puzolan ikameli çimentolara da traslı çimento denilir. Tras oranı %15 ile sınırlanınca üretilen çimentonun adı katkı çimento olmaktadır.

Belli niteliklere sahip özel çimentolar arasında genişleyen (expansive) çimentoları, çabuk priz yapan ve sertleşen çimentoları, beyaz çimentoyu, yüksek sülfatlı çimentoları, petrol kuyuları çimentolarını (oil-well cements), alüminli çimentoları sayabiliriz. Alüminli çimento dışındakilerin tümünün içinde Portland çimentosunun klinkeri mevcuttur.

Çimento türlerini çeşitlendirmedeki çabalar 20. yüzyılın teknolojik alandaki başdöndürücü hızına paralel bir gelişme içine girmiştir. Bu paralelliği sap-tamak oldukça ilginçtir. Aşağıda bu konuya kısaca değinilmiştir.

Metalurji alanındaki gelişmeler çimento ve beton endüstrisinde kullanılabilecek yan ürünlerin yani endüstriyel atıkların elde edilmesine yol açmıştır. Bunların ilki çelik ve diğer metallerin üretiminde oluşan cüruftur. Özellikle çelik yüksek fırınlarının cürufları puzolanik nitelikleri ve düşük düzeydeki bağlayıcılıkları nedeniyle çimento sanayiine giren ilk endüstriyel atıklardır.

Elektrik enerjisi gereksinimi kömürle çalışan termik santrallerin sayısını ve kalitesini önemli ölçüde artırmıştır. Bunların baca külleri (fly ash) de puzolanik nitelik taşırlar, çevreyi kirleten bu yan ürün günümüzde çimentolara tras oranında katıldıkları gibi doğrudan beton üretiminde Portland çimento ile birlikte kullanılmaktadır. Son yıllarda (1990-2000) beton üretiminde bu uçucu küllerin çimentonun %90'ına varan oranlarda yerini aldıkları görülmektedir.

Elektrik çağının gelişmesi ve yarı iletkenlerin ortaya çıkması da beton bağlayıcılarında yeni bir devir açtı. Transistörlerin ana maddesi olan silisyumun elde edilmesi için geliştirilen elektrik ark fırınlarında bacalarda oluşan silis dumanları (silica fume, mikrosilis) Portland çimento tanelerinden 10~20 kat daha ince aktif silis (SiO_2) içermektedir. Bunlar da uçucu küller gibi çimento üretiminde veya yüksek performanslı betonların elde edilmesinde direkt olarak düşük oranlarda (%5~10) kullanılmaktadır (1980-2000).

20. yüzyılın önemli bir buluşu polimerlerdir. Günümüzde polimerlerin hayatımızda girmediği alan kalmamıştır. Çimento ve beton sanayii de polimerler alanındaki buluşlardan elbette yararlanmışır. Polimerler beton teknolojisinde 1960 yıllarından beri kolay işlenebilirlik, esneklik, geçirimsizlik ve yüksek dayanım sağlamak amacıyla kullanılmaktadır.

Endüstriyel atıkların değerlendirilmesi, tarımsal atıkların da değerlendirilebileceği fikrini doğurdu. Bunlar arasında özellikle pirinç kapçığı külü ilgi çekici oldu (1980). Pirinç kapçığı yüksek oranda silis içermekte ve yakıldıktan sonra amorf, aktif karakter kazanan kapçık külü silis dumanından da yüksek bir incelik göstermektedir. Bu maddenin silis dumanı yerine kullanılması yönünde çalışmalar sürdürülmektedir.

Tras ve endüstriyel atıklara mineral katkı maddeleri veya çimentolaşan maddeler (cementitious materials) denilmektedir. Çimento-beton sanayiinde bunlar dışında kimyasal katkı maddeleri vardır ve bunlarda da çok önemli ilerlemeler sağlanmış ve "Beton kimyasalları" adı verilen bir endüstri dalı oluşmuştur. Aslında kimyasal katkı kullanımı beton üretiminin ilk çağlarında da ihmal edilmemiştir. Örneğin Romalıların betonlarına hayvansal yağlar, süt ve kan kattıklarını biliyoruz. Daha ziyade işlenebilmeyi artırmak amacıyla katılan bu maddelerden kan, hemoglobinin sayesinde hava da sürüklüyor ve betonun dona dayanıklılığını artırıyor.

Kimyasal katkılar, taze betonun işlenebilmesini artırmayı, priz ve sertleşme süresini uzatma veya kısaltmayı, taze ve/veya sertleşmiş betonun donma-çözölmeye ve kimyasal iç-dış etkilere dayanıklılığını geliştirmeyi sağlamak üzere kullanılırlar.

Dayanımı aşırı yükselten, çok düşük su/bağlayıcı oranı ile yüksek işlenebilme sağlayan süperakışkanlaştırıcılar 1960-1970 yılları arasında bulundu. Bu katkılar beton teknolojisinde bir devrim başlattı. İlk önce melamin sülfonat formaldehit (Aignesberger, Almanya) ve naftalen sülfonat formaldehit (Hattori, Japonya) süperakışkanlaştırıcıları üretildi.

Bunlar yapı itibarı ile birer polimerdir, yıllardır

0.42'nin altına düşürülemeyen su/çimento oranları 0.27'lere indirilebildi. Buna bağlı olarak da dayanım değerlerinde bir sıçrama meydana geldi. Süperakışkanlaştırıcı betonların çimento taneleri arasındaki boşlukları silis dumanı ile doldurulunca sağlanan dayanım artışı göz kamaştırıcı oldu: eskiden oldukça zorlukla sağlanan 30 MPa'lık dayanım yerine günümüzde artık 120-130 MPa dayanımlı betonlar üretilebilmektedir. Son yıllarda (1990'dan itibaren) süperakışkanlaştırıcılarda da ilerlemeler sağlandı ve melamin, naftalen sülfonat esaslı katkılar yerine geliştirilmiş karboksilik katkılarla hiperakışkanlaştırıcılar üretilmeye başlandı, agrega boyutları çok küçültülerek ve S/Ç oranları 0.09'a indirilerek reaktif toz harçları elde edildi, bunların dayanımı 700~800 MPa'ı buldu. [20].

7. ESKİ ÇAĞLARA ÖZLEM VE GELECEK

İnsanlar 19. yüzyıldan itibaren geçmişlerini öğrenmek hususunda büyük çaba göstermeye, eski uygarlıkların eserlerini bulmaya, tanımaya, ortaya çıkarmaya başlamışlardır. Yapılan arkeolojik kazılar pek çok soruya cevap bulmaya imkan sağlamıştır. İnşaat teknolojisinin nasıl geliştiği, bugünkü düzeye hangi aşamalardan geçerek vardığımız merak edilmiş ve hatta bu merak sonucu yepyeni buluşların yapılması da mümkün olmuştur.

Yapıtaşları konusunda en dikkati çeken hususlardan biri Mısır'daki piramitlerin hala bozulmadan kalmalarıdır. Bu piramitlerin nasıl inşa edildikleri, 2-2.5 ton ağırlıklarındaki taşların o yüksekliğe 20 gün zarfında nasıl taşındıkları, harca gereksinim duyulmayacak oranda düzgün yüzeyli hazırlandıkları pek çözülmüş değildir.

1980'li yıllarda A.B.D.'de Davidovitz yepyeni bir faraziye geliştirmiş ve bunu kanıtlayan deneylere başlamıştır. Davidovitz'e göre piramitlerdeki kalker taş bloklar taşınmamış, yerinde kalıplara dökülerek üretilmiştir. Yani bunlar betondur ve bu beton günümüz betonundan farklıdır, çünkü piramitleri tamir için kullanılan günümüz harçları 15-20 yıl içinde hasara uğradıkları halde, bu eski beton bloklar 4000 yıldır Mısır'ın değişken, sert iklimine dayanmışlardır. Davidovits'e göre kırılmış kalker taşları Nil'in toprağı (içinde boksit gibi alüminli birleşenler bulunan) ve mumyalarda kullandıkları natronla (sodyum karbonat) karıştırılarak bu betonlar üretilmiş ve kuvvetle sıkıştırılmış, bölgenin sıcaklığı etkisiyle 4 saat gibi kısa bir sürede sertleşme meydana gelmiştir. Burada toprağın ve taşın analsim türü iyon değiştiren bir zeolit içerdiği görülmüştür. Sertleşme bir polimerizasyon ve zeolitik bir reaksiyonla meydana geliyor. Davidovits bu betona geopolimer betonu adını vermiş ve günümüzde de üretilebileceğini beyan etmiştir [21].

Geçmişte yapılmış eserlerin onarımında da gerekli uyumu sağlamak estetik bir sorun olarak ortaya çıkıyor. Bugün Sinan'ın köprülerini çimento ile onarmak pek doğru olmasa gerek. İngiltere'de 18 ve 19. yüzyıllarda doğal çimentolarla yapılan binaların veya sıvaların onarımı için o devirlerde üretilen doğal çimentoların yeniden üretilmesine çalışılıyor. Doğal olarak o zamanki teknolojiyi bugün tekrar kurmak masraflı, ayrıca üretim kısıtlı kalacağından ekonomik açıdan verimli de değil. Mamafih, çalışmalar yine de o çimentoları üretmek ve onlara eşdeğer modern çimentolarda ufak değişiklikler yaparak eski çimentolara benzer nitelikte çimentolar elde etmek şeklinde yürütülüyor.

Eskiye göre bu çalışmalar dışında geleceğe dönük tasarımlar da mevcut. Amerikan Beton Enstitüsü ve Standartlar Enstitüsü (NILST ve ACI) 1980'li yıllarda özel bir çalışma grubu oluşturdu. Konu ay betonu. İnsanoğlu aya gittiğinde aydaki barınacağı yine aydaki yapı taşlarından üretecek, ayda çimento üretmek, beton yapmak nasıl olacak, hammadde, su problemi nasıl halledilecek? Şimdi bu probleme de el atmak hayal olmaktan öte somut bir yaklaşımla ele alınıyor [22,23].

Paleolitik çağdan beri insanoğlunun geliştirerek sürdürdüğü yapı malzemesi konusundaki arayışı ve araştırmaları, uygarlığın vazgeçilmez ve ayrılmaz bir parçası olarak tüm zamanlarda vardı. Gelecekte de insan araştırmaları ve uygulamaları ilgi çekerek devam edecek.

KAYNAKLAR

1. The Encyclopedia Americana Int. Ed., 1978, V12, Geology, Earth's History, ss.460-465.
2. Kinder, H., Hilgemann W., 1964, D.T.V. Atlas zur Weltgeschichte, Deutscher Taschenbuch Verlag GmbH, München.
3. Dinçol A.M., 1982, "Hititlerden Önceki Anadolu", Anadolu Uygarlıkları Ansiklopedisi, Görsel Yayın, V1, ss.12-16.
4. Westbrook J.H., 1990, "Materials: History Before 1800", Concise Encyclopedia of Building and Construction Materials, Ed. Fred Moanvenzadeh, Pergamon- MIT Press, Cambridge MA, ss.412-423.
5. Vitruvius, A., Mimarlık Üzerine On Kitap, Kitap 2, ss.25-45, Kitap 7, ss.143-154, Morgan, M.H. tercümesinden Türkçe'ye tercüme: Güven S., Şevki Vanlı Mimarlık Vakfı Yayını, 1990. ISBN 975-772-2-03-0.
6. Hodder I., 1996, "Çatalhöyük, 9000 Year Old Housing and Settlement in Central Anatolia", A Historical Perspective - Habitat II, İstanbul, ss.43-48.
7. Malinowski R., Garfinkel Y., 1991, "Prehistory of Concrete", ACI Concrete International, March, ss.62-68.
8. Kitab-ı Mukaddes, Tevrat, Eski Ahitler, Türkçe Baskı,
 - a. Çıkış (Exodus), Bölüm 5
 - b. Tekvin, Yaradılış (Genesis), Bölüm 11
 - c. Tesniye, Kolaylaştırma (Deuteronomy), Bölüm 27.
9. Straub H., 1964, History of Civil Engineering, MIT Press, Cambridge MA.
10. Belli O., 1982, "Urartular", ibid 3, V1, ss.152-175.
11. Finch J.K., 1954, The Story of Engineering, Anchor Publ., New York.
12. Grün R., 1951, İnşaat Mühendisleri ve Mimarlar için Kimya, Serdaroğlu N. tercümesi, İTÜ 279 No. Yayın, İstanbul.
13. Esin U., 1996, "Aşıklı, Ten Thousand Years ago: A Habitation Model from Central Anatolia", ibid 6, ss. 31-42.
14. Moropoulou A., Bakolas A., Bisbikou K., 2000, "Investigation of the technology of historic mortars", J. Cultural Heritage, 1) pp. 45-58.
15. Akman M.S., Güner A., Aksoy I.H., 1986, "The History and Properties of Khorasan Mortar and Concrete", Turkish and Islamic Science and Technology in the 16th Century, V1, İTÜ Research Center of History of Science and Technology Publ., ss.101-102, İstanbul.
16. Deloye F-X., 1996, "La Chaux à travers les Ages", Bul. Des Lab. des Ponts et Chaussées, N. 201, ss.94-98.
17. Akman M.S., 1997, "Building Materials in Early ages of Mankind", Int. Conf. on Studies of Ancient Structures", Faculty of Architecture of Yıldız Technical Univ., ss.177-186, İstanbul.
18. Kocataşkın F., 1965, Çimento Özellikleri Hakkında Ne Biliyoruz?, İTÜ Yayınları, No.627.
19. Mindes, S., Young, J.F., 1981, Concrete, Prentice Hall Inc., New Jersey, A.B.D.
20. Akman, M.S., 2001, "Yüksek Performanslı Betonların Teknolojisi, Özellikleri, Sorunları, Geleceği", Türkiye İnşaat Mühendisleri XVI. Teknik Kongresi, Özel Oturum Konuşmaları Cildi, Ankara.
21. Davidovitz, J., 1987, "Ancient and Modern Concretes: What is the Real Difference?", ACI Concrete International, V.9, N12, ss.23-35.
22. Lin, T.D., 1987, "Concrete for Lunar Base Construction", ACI Concrete International, V.9, N.7, ss.48-53.