



TÜRKÇİMENTO

PORTLAND ÇİMENTOSU: 200 YILLIK SERÜVEN

TÜRKÇİMENTO
2024

Hazırlayanlar:

Serkan Türk, TÜRKÇİMENTO AR-GE Enstitüsü Müdürü
Yasin Engin, TÜRKÇİMENTO Danışmanı

Bu raporun yayın ve dağıtım hakkı TÜRKÇİMENTO'ya aittir. Tamamı veya herhangi bir bölümü TÜRKÇİMENTO'nun yazılı izni olmadan fotokopi dahil mekanik ve elektronik ortamda transfer edilemez, çoğaltılamaz ve dağıtılamaz.



İçindekiler

GİRİŞ	2
PORTLAND ÇİMENTOSU YOLUNDA BAĞLAYICILARIN TARİHSEL GELİŞİMİ	4
PORTLAND ÇİMENTOSU: 200 YILLIK SERÜVEN	17
TÜRKİYE'DE ÇİMENTO SEKTÖRÜNÜN GELİŞİMİ	32
KAYNAKLAR	35

GİRİŞ

Binlerce yıldır; kil, kerpiç, alçı, kireç ve bitüm gibi malzemeler dünya genelindeki birçok kültürde önemli yapı malzemeleri olmuştur. Kullanılan bu malzemelerin cinsleri ve uygulanma yöntemleri coğrafyaya göre değişiklik göstermekte olup, birçok yerde bağımsız olarak ortaya çıkmıştır. Tarihsel olarak; harç ve sıva yapımında kullanılan bağlayıcıların türü, doğal kaynakların mevcudiyetine ve özellikle kireç esaslı bağlayıcılar için yeterli koşullarda kireç taşının yakılma teknolojisine bağlı olmuştur.

Portland çimentosu, insanlığın en büyük icatlarından biridir ve 19. yüzyılın başlarından bu yana çarpıcı bir başarı elde etmiştir. Günümüzde Portland çimentosu; beton, harç ve sıva yapımı başta olmak üzere birçok inşaat uygulamasında kullanılmaktadır. Şu anda, her yıl dünya çapında üretilen 4,3 milyar ton Portland çimentosu¹, küresel çimento pazarının %99'undan fazlasını kapsamaktadır. Portland çimentosu, tüm dünya ölçeğinde ekonomik kalkınma ve refah için stratejik bir emtia olarak kabul edilmektedir.

Portland çimentosunun hikayesinin temelinde gezegenimiz Dünya yer almaktadır. Daha da açık söylemek gerekirse kıtasal kabuğun en üst kısmından bahsedilmektedir. Dünya genelinde kullanılan bir yapı malzemesinin yaygın olarak üretilebilmesi ve ekonomik olması için yer kabuğunun yapısını yansıtmaması ve bu sayede bol ve dolayısıyla ucuz ham maddelerden yapılmış olması son derece önemlidir. Portland çimentosu için gerekli olan CaO , SiO_2 , Al_2O_3 , Fe_2O_3 gibi bileşenleri temin etmek pek de zor değildir. Özellikle de diğerlerine kıyasla çok daha fazla oranda kullanılan CaO kaynağı yerkabuğunun üst kısmında bol miktarda bulunmaktadır. CaO , kireç taşının (CaCO_3) yüksek ısıya maruz bırakılması sonucunda elde edilmektedir.

Diğer birçok önemli fikirde olduğu gibi, Portland çimentosunun icadı da birdenbire yani "Eureka" anı olarak değil; antik dünyada kök salmış ve uzun süredir devam eden kireç üretim geleneğinden filizlenmiştir. 18. yüzyılın sonlarına gelindiğinde, farklı yerlerde üretilen kireçlerin farklı özelliklere sahip olduğu iyi bilinmekteydi. Bazı yerlerde, deniz yapıları gibi su geçirmezlik gerektiren uygulamalar için çok daha nitelikli hidrolik kireçler üretilmiştir. Birleşik Krallık'ta John Smeaton, 1759 yılında Eddystone Deniz Fenerini inşa etmek için hidrolik kireç ve agrega karışımından oluşan betonun öncülüğünü yapmış veya daha doğrusu yüzlerce yıl sonra yeniden keşfetmiştir. Elli yıl sonra, Fransız mühendis Louis Vicat tarafından yapılan araştırmada kireçteki silika ve alümina seviyelerinin hidrolik davranışı belirlediği tespit edilmiştir. Bununla birlikte, altta yatan kimya tam olarak anlaşılmamıştır. Hem Smeaton hem de Vicat, çalışmalarından elde ettikleri bulguları pek koruyamadıkları için İngiliz duvar ustası Joseph Aspdin'e 1824 yılında "Portland çimentosu" olarak adlandırdığı malzemenin patentini alma fırsatını sunmuşlardır.

¹ U.S. Geological Survey 2023

Erken dönem Portland çimentoları, bugün bilinen üründen oldukça farklıydı. O zamanlar üretim, kireç mili veya şişe tipi fırınlar kullanılarak yapılmaktaydı. Bu fırınlar 1100-1200°C'nin çok üzerindeki sıcaklıklara ulaşamadığı için günümüzdeki Portland klinkerinin ana reaktif fazı olan aliti yani C_3S 'i oluşturmak için yeterli değildi. Ayrıca, ham maddelerin türü ve oranları üreticiler arasında önemli ölçüde farklılık göstermekte ve ticari sır olarak kabul edilmekteydi. Bu da erken dönem Portland çimentolarının çok çeşitli bileşimleri ve özellikleri ile sonuçlanmıştır.

1840 yılından itibaren, yeni fırın tipleri (Hoffmann fırını ve nihayetinde döner fırın) kademeli olarak piyasaya sürüldükçe, 1450°C'lik daha yüksek bir klinkerleşme sıcaklığı daha tutarlı bir şekilde kullanılmıştır. Bu sayede, modern Portland çimentosu tarih sahnesinde rol almaya başlamıştır.

PORTLAND ÇİMENTOSU YOLUNDA BAĞLAYICILARIN TARİHSEL GELİŞİMİ

Çimento, farklı özellikler ve isimlerle insanlık tarihinin çok eski dönemlerinden beri var olan ve günümüze kadar gelişimini devam ettiren bir yapı malzemesidir. Çimento, Latince “caementum” kelimesinden türemiştir ve yontulmuş taş kırıntısı anlamına gelmektedir. Ancak, zamanla “bağlayıcı-birleştirici” anlamında kullanılmıştır. Bu anlamda “ciment” kelimesi 1300'lü yıllarda önce Fransa’da, 1400'lü yıllarda ise “cement” kelimesi İngiltere’de kullanılmaya başlanmıştır. Türkçe telaffuz benzerliğinden dolayı, İtalyanca “Cemento” sözcüğünden esinlenerek “çimento” terimi kullanılmaktadır. “Çimento” teriminin kullanıldığı ilk yazılı kaynak 1892 yılında yayımlanan İstilahat Lugati’dir.

Çimento sözcüğünün kökeni olan “caementum”u ilk defa Romalı mimar ve mühendis Marcus Vitruvius Pollio (MÖ 1. yüzyıl), “De Architectura” adlı eserinde kullanmıştır. Bu eserinde Vitruvius, toz halinde bulunan ve yapıların inşasında kullanılan bir malzemeden bahsetmiştir. 10 ciltlik bu kitapta puzolan ve kireç karışımlarının hidrolik özelliklerinden bahsedilmiş, nehir ve deniz kıyısında yapılacak olan yapılarda kullanılabilecek harç için karışım oranı (2 birim puzolan, 1 birim kireç) bile verilmiştir.

Çimento tarihini bağlayıcı malzemelerin ilk kullanımından itibaren başlatmak gerekir, çünkü yüzlerce hatta binlerce yıllık deneyim ve birikim günümüzde kullandığımız Portland çimentosunun keşfedilmesine yol açmıştır. Çimento ve benzeri malzemelerin üretimi, insanlık tarihindeki en erken dönüştürücü teknolojilerden biridir.

Geç Paleolitik dönemden önce en yaygın kullanılan bağlayıcı malzeme, önemli miktarda kil içeren çamurdu. Bu malzemenin muhtemelen 100.000 yıl önce Afrika’da ve hemen ardından Mezopotamya, Persiya, Anadolu ve diğer yerlerde kullanıldığı düşünülmektedir. Kil çamuru; harç, sıva ve tuğla yapmak için kullanılmıştır. Başlangıçta pişirilmemiş (güneşte kurutulmuş çamur veya kerpiç tuğla) olarak, daha sonra ise pişirilmiş olarak kullanılmıştır. Kil çamurunda kullanılan en yaygın inorganik katkı maddesi silika kumu olmuştur. Ayrıca otlar, saman, gübre ve diğer lifli organik maddeler de eklenerek dayanıklılık artırılmıştır. Çamurun kil içeriği oldukça önemlidir çünkü birçok kil, yüksek ölçüde bağlayıcı özelliklere sahiptir ve ıslak haldeyken çamur harçları ve sıvalarının işlenmesi için gerekli plastikiği sağlamaktadır.

Alçının Mısır’da Predinastik dönemden (MÖ 6000 - 3150) itibaren kullanıldığı bilinmektedir, ancak alçının kullanımının çok daha önce evrimleştiği söylenebilir. Bu malzeme, iç yüzeyleri düzeltmek için duvarlar, zeminler ve tavanların yapımında; taş aletlerin onarımında ve kapların sızdırmazlığında kullanılan bir yapıştırıcı olarak kullanılmıştır. Ayrıca taş duvarları sağlamlaştırmak için bir harç olarak da tercih edilmiştir. Örneğin, Kıbrıs’ın güneyindeki Kalavastos-Tenta yerleşiminde, MÖ 7000'lere tarihlenen taş yapı evlerde alçı harçlarının kullanıldığını görülmektedir. Mısır piramitlerinde kullanılan malzemeler üzerine yapılan erken analizler ve daha yakın dönemdeki piramit keşifleri, alçı harcının kaba kesilmiş iç piramit bloklarını birleştirmede ve piramitlerin üst kısımlarındaki molozları yapıştırmakta yaygın olarak kullanıldığını ortaya koymuştur.

Bilinçli olarak üretilen ilk bağlayıcı malzemeler alçı ve kireç olmuştur. Kirecin bağlayıcı özelliğinin insanlık tarihinin erken dönemlerinde (erken Neolitik dönem) keşfedildiği söylenebilir. Kirecin özellikle MÖ 7000'lerden sonra ateş yakma ve kullanma yeteneğinin

gelişmesi ile eski Mısır, Kıbrıs, Girit ve Mezopotamya'nın değişik yörelerinde bir yapı malzemesi olarak kullanılmasına ait örneklerle rastlanılmıştır. Kireç, Yunan mimarisinde; özellikle su depoları, hamamlar ve çeşmelerin iç kaplamaları, mozaik zeminlerin döşenmesi ve zemin ile duvarların düzeltilmesi için yaygın olarak kullanılmıştır. Eski Yunanlılar ve Romalılar, kireci hidrolik bağlayıcı olarak kullanmışlardır. Üretilmiş kireç çimentolarının gerçekten büyük ölçekli anıtsal kullanımı ise Roma betonu ile gerçekleşmiştir. Roma döneminde Akdeniz bölgesinde, hidrolik olmayan kireçler birçok küçük ölçekli projede, özellikle mozaikleri döşemek ve duvar resimleri için destek sağlamak amacıyla kullanılmaya devam etmiştir. Orta Çağ döneminde Avrupa'da, hidrolik olmayan kireçler birçok mimari ve dekoratif projede yaygın olarak kullanılmış ve bu döneme ait gelişmiş bir sanayinin varlığı tespit edilmiştir. Akdeniz bölgesi dışında, kireç başka birçok toplum tarafından bilinmekteydi; ancak bu konuda yeterince araştırma yapılmamıştır. İstisnalar arasında Mezoamerika'daki Maya kültüründen kalan kireçler üzerine yapılan çalışmalar bulunmaktadır.

Bağlayıcı malzemeler; sadece yapılar için harç görevi yapmamış, ayrıca tarihsel süreçte medeniyetlerin de gelişmesinde etkili olmuştur. Göbeklitepe'deki bilinen en eski tapınak, Mısır'daki devasa piramitler, 10 bin km'yi bulan Çin Seddi, 43 metrelik kubbesi ile zamanının şartlarını zorlayan Pantheon Tapınağı (Roma) ve Mimar Sinan'ın baş döndürücü eserleri ait oldukları medeniyetlerin gelişmişliğini gösteren en önemli izlerdir. İşte tüm bu yapılarda farklı bağlayıcı malzemelere rastlanmaktadır.

Bu bölümün devamında antik dönemlerden Portland çimentosunun keşfine kadarki önemli tarihsel gelişmeler ve keşifler yer almaktadır:

Kireç harcının tarihte bilinen en eski kullanımına Göbekli Tepe Tapınağı'nda rastlanmıştır. Göbekli Tepe, Güneydoğu Anadolu'nun Şanlıurfa ilinde, büyük bir kireç taşı platosunun üzerinde yer almakta olup; Seramik Öncesi Neolitik Çağ'da (MÖ 10000-9000) inşa edilmiş anıtsal yuvarlak, oval ve dikdörtgen megalitik yapıları içermektedir. Yaklaşık 9 hektarlık bir alanı kaplayan bu yerin, henüz bir kısmı üzerinde arkeolojik çalışmalar tamamlanmıştır. Resim 1'de görüleceği üzere dairesel alanların merkezinde serbest duran iki adet "T" şeklinde monolitik sütun ve etraflarında da "T" şeklindeki kireç taşı sütunlar yer almaktadır. Dikdörtgen yapılar yaklaşık 3×4 metre boyutlarındadır ve taş duvarlara sahip olup daha az sayıda ve daha küçük sütunlar içermekte ya da hiç sütun bulundurmamaktadır. Alanda literatürde "terrazzo" zeminler olarak da adlandırılan kireç harçlı zeminlerin birçok örneği bulunmaktadır. Bu zeminler, kazı sonrası erozyona uğramış ve korunmaları için kapatılıp geri doldurulmuştur. Monolitlerin arasında, monoliti destekleyen harçlı kaba taş duvarlar bulunmaktadır. Terrazo zeminlerde kireç harcı ve kireç taşlarından oluşan betonun kullanıldığına dair kanıtlar bulunmaktadır. Alanda hem anıtlar hem de kireç harcı yapmak için kireç taşı kaynağı olan çok sayıda tarih öncesi ocak tespit edilmiştir. O dönem için kireç yakma teknolojisine dair bir kanıt olmasa da inşaatın yapıldığı çağdaki iklim koşullarında yumuşak marnlı kireç taşı minerallerinin kullanılmış olması mümkün gözükmemektedir. Bu yumuşak marnlar; kum, su ve agregalarla karıştırıldığında bir tür beton üretilmektedir.



Resim 1. Göbeklitepe, Şanlıurfa, MÖ -10.000

Kudüs'ün batısında Celile bölgesinde yer alan Yiftah El'de 1985 yılında yapılan bir inşaat çalışması esnasında MÖ 7000'lerde yapıldığı tespit edilen bir zeminde kireç ve taş karışımından oluşan betona rastlanmıştır. 180m2'lik zeminde, bağlayıcı olarak yaklaşık iki ton kireç ile 8m3 beton kullanıldığı tahmin edilmektedir. Kireç, su ve kumla karıştırıldığında ve sonrasında atmosferdeki karbondioksitle temas ettiğinde; katılaşan ve sertleşen bir tür harç oluşturmaktadır. Bu tür kireçlere hava kireci denilmektedir. Bu harç, taşlarla karıştırıldığında taşları birbirine yapıştırmakta ve bir tür beton oluşturmaktadır. Arkeologlar bu malzemeleri genellikle sıva olarak adlandırırlar, ancak kireç betonu veya kireç harcı olarak adlandırmak daha doğrudur. İnsanlık tarihinin bu noktasında odun yakılan fırınlarda 850 ila 900°C arasında sıcaklıklara ulaşılabilmekteydi. Bu sıcaklık, kireç taşı kalsine etmek için yeterlidir; ancak kil pişirmek veya hidrolik kireç çimentosu üretmek için yeterli değildir. Yiftah El'deki zemin için hatırı sayılır miktarda kirecin, oldukça büyük bir fırında düzenli bir yakma işleminden geldiği tahmin edilmektedir. Bölgede bir fırına ait olabilecek ateşe dayanıklı malzemeler de bulunmuştur. Bulunan beton; oldukça yüksek dayanım, yoğunluk ve dayanıklılık özellikleri göstermektedir.



Resim 2. Göbeklitepe, Şanlıurfa, MÖ -10.000

MÖ 6500'de Suriye ve Ürdün bölgesinde yaşayan Nebatiler, Arap çölünde dolaşan birkaç kabileden biriydi. Nebati İmparatorluğu zirve noktasında günümüz Yemen'inden Şam'a, Batı Irak'tan Sina Çölü'ne kadar uzanmaktaydı. Çimento harcı ve sıva, Nebatilerin

yaşamında önemli bir rol oynamıştır. Bu temel teknolojiyi çöldeki ilk yıllarından beri kullanmışlardır. Çimento konusundaki özel bilgileri olmasaydı, Nebatiler çölü fethedemez ve bir medeniyet statüsüne yükselemezlerdi. Nebatiler, az yağışı toplamak ve depolamak amacıyla çölün çok uzaklarında su kanalları ve sarnıçlar inşa etmişlerdir.



Resim 3. Ürdün Humayma'da bir Nebati sarnıcı

Günümüz Sırbistan topraklarında yer alan Lepenski Vir'de çimentolu zemin inşaatına dair MÖ 5600'e kadar uzanan kanıtlar bulunmaktadır. Lepenski Vir, Sırbistan'ın doğusunda Tuna Nehri'nin sağ kıyısında Demir Kapılar geçidinde yer almaktadır. 1960'ların ortalarında Lepenski Vir'de betondan yapılmış bir kulübe zemini bulunmuştur. Zemin 25 cm kalınlığında bir beton tabakasına sahiptir. Zeminlerde kullanılan malzeme, beton gibi sertleşen ve dayanım kazanan kırmızı kil içeren kireç ile yapılmıştır. Bu nedenle zeminler neredeyse mükemmel durumdadır. Kırmızı kil, bölgede hala bol miktarda bulunmaktadır. Bu malzemeye lep denilmektedir. Dolayısıyla bölgenin adı, Lepenski Vir veya kelimenin tam anlamıyla "kırmızı kil girdabı"dır.



Resim 4. Lepenski Vir'de ocaklı bir evin döşeme yapısı

Çoğu antik Mısır inşaatında güneşte kurutulmuş tuğlalar arasında harç olarak yalnızca balçık veya kil kullanılmış olsa da kireç harçları, alçı harçları ve betonun da kullanıldığına dair önemli kanıtlar bulunmaktadır. Çelişkili raporlar olmasına rağmen eski Mısır'daki Büyük Giza Piramidi'nin yapımında bir tür beton kullanılmış olabildiğine dair görüşler bulunmaktadır. Bilinen en eski beton işçiliğine ait görsel kanıt, Mısır'daki Thebes kentinde beton üretiminin çeşitli aşamalarını gösteren MÖ 1950'lere ait bir duvar resmi. Resim 5'te görüleceği üzere Thebes'in mezar odasından alınan çizimler, kuyularda suyun toplanmasından ve harcın

kariştirilmasından tuğla örmede harç kullanımına kadar harç veya beton üretimi olarak tanımlanan sürecin farklı aşamalarını göstermektedir. Çizimin alt kısmı, her iki tarafta tuğla duvarla desteklenen betondan bir merkezi duvarı göstermektedir.



Resim 5. Thebes kentinde yer alan bir duvar resmi

MÖ 3000 civarında, Kuzey Çinliler tekne yapımında ve daha sonra Çin Seddi'nin yapımında bir çeşit bağlayıcı malzeme kullanmıştır. Bu yapılardan bazıları zamanın, afetlerin ve yoğun savaşların pençesinden kurtulup günümüze kadar ulaşmıştır. Spektrometre testleri, Çin Seddi ve diğer antik Çin yapılarında kullanılan harçtaki önemli bir bileşenin glutenli, yapışkan pirinç olduğunu doğrulamıştır. Harç için pirinç unu, sönmüş kireç ile karıştırılmıştır. Bu harcın, kireç harcından daha fazla dayanıklılığa ve su direncine sahip olduğu belirtilmektedir. Yapılan bazı araştırmalarda Çinlilerin Romalılardan çok önce beton katkı maddesi olarak hayvan kanı kullanımını geliştirdiği ifade edilmiştir. Günümüze kadar korunan binlerce antik Çin yapısında kullanılan kireçli çimento bileşeninde hayvan kanına rastlanmıştır. Kireçli çimento ile karıştırılan hayvan kanı su azaltıcı ve hava sürükleyici görevi görerek dayanıklılığı artırmaktadır.



Resim 6. Çin Seddi

Yunan uygarlığı dört büyük döneme ayrılmaktadır:

1. Minos (MÖ 2800-1100)
2. Miken (MÖ 1500-1100)
3. Helenik (MÖ 900-323) ve
4. Helenistik (MÖ 323-MS 30)

Minos Uygarlığı, Girit adasında bulunmaktaydı. Çok iyi denizci olan Minoslular, onlarca oda ve salondan oluşan devasa saraylar inşa etmişlerdir. İnşaat yöntemleri, iç duvarlarda harçla birbirine bağlanan kaba taşlar ve seramik tuğlalardan oluşurken, binaların köşeleri keskin hatlı büyük dikdörtgen bloklarla şekillendirilirdi. Resim 7’de Minos Uygarlığı dönemine ait Yunanistan’da yer alan Knossos Sarayı görülmektedir. Yapılan araştırmalarda Knossos’taki beton yapıların, düşük kükürt ve yüksek kalsiyum içeriğine sahip olan bir çimentodan oluştuğu tespit edilmiştir. Bu malzemede tanımlanan başlıca mineral kalsittir.



Resim 7. Knossos Sarayı

Miken, Yunanistan’ın Peloponez bölgesinde, Argolid ovasında iki tepe arasında yer alan, Geç Bronz Çağı’na ait bir tahkimatlı şehirdir. Miken mimarisinde bulunan kiklop taş işçiliği; büyük kireç taşı bloklarının, yan yana gelen taşlar arasında minimum boşluk bırakarak ve harç kullanmadan kaba bir şekilde bir araya getirilmesiyle oluşturulmuştur. Bu bloklar genellikle işlenmemiş gibi görünse de bazıları bir çekiçle kabaca işlenmiş olabilmekte ve bloklar arasındaki boşluklar daha küçük kireç taşı parçalarıyla doldurulmaktadır. Arkeologlar, "ilkel yerleşimin en eski evlerinin" birçok yerde korunmuş zeminlerini bulmuşlardır. Bu zeminler, sarayın zemininden oldukça farklı olan sıkıştırılmış kil zeminlerden oluşmaktadır. Sarayın zeminleri ise, üst kalenin kiklop duvarlarıyla birlikte inşa edilmiştir ve her zaman kireç betonundan yapılmıştır.



Resim 8. Aslan Kapısı, Miken Uygarlığı

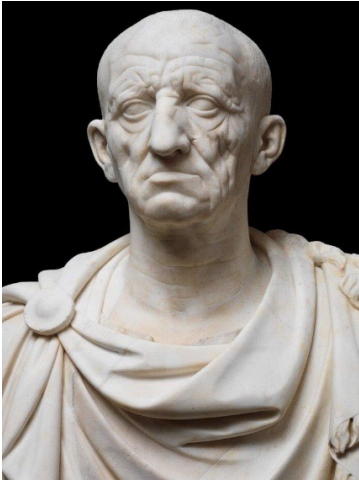
MÖ 600 civarında Yunanlıların doğal puzolanları keşfederek kireçle karıştırdıklarında hidrolik özellik geliştiren çimentolar kullanmaya başladıkları görülmektedir. Puzolanlar kendi başlarına hiç ya da çok az bağlayıcılık özelliği olan, ancak toz halinde ve su varlığında kireçle kimyasal reaksiyona giren silisli veya silisli ve alüminyumlu malzemelerin geniş bir sınıfıdır. Yunanlılar, inşaat için çeşitli kireç karışımları kullanmış ve kil ile yapılan tuğlaları kaplamak için de bu karışımları tercih etmişlerdir. Antik Yunanlıların, su ile karıştırıldığında hem havada hem de suda sertleşebilen hidrolik harçları ilk kullananlar olduğu düşünülmektedir.

Roma İmparatorluğu, betonun icatçısı veya yaratıcısı değildir, ancak Yunan çimentosu ve betonu fikrini taklit ederek bu malzemeyi farklı inşaat türlerinde yaygın olarak kullanan ilk uygarlık olmuştur. Romalılar; volkanik kül, kireç ve su karışımını volkanik taşlarla birleştirip, ahşap kalıplara dökerek beton üretmişlerdir. Hidrolik harçlarla üretilen harçlar ve betonların, sürekli çevresel etkilere karşı çok daha yüksek bir dayanıklılığa sahip olduğu açıktır. Roma mimarisi, bu dayanıklılığı ve işlevselliği sayesinde birçok yapının günümüze kadar ulaşmasını sağlamıştır. Bilim insanları günümüzde bunun nedenini keşfetmiştir. Araştırmacılar, Romalı Mimar Vitruvius tarafından yazılmış antik bir tarife dayanarak bir harç karışımı hazırlamıştır. Mühendisler, bu karışımın sertleşmesi için altı ay beklemiş ve mineralojisini analiz etmiştir. Denizdeki suyun volkanik külün bileşenlerini çözerek yeni bağlayıcı minerallerin büyümesine olanak tanıdığı tespit edilmiştir. Özellikle, çok nadir bir hidrotermal mineral olan alüminyum thobermorite ve gözenekli bir mineral olan phillipsite oluşumu keşfedilmiştir. Bu mineraller, betonun güçlenmesinde rol oynamıştır.

Colosseum ve Pantheon, Roma betonunun klasik örnekleridir. Zamanın ve insanın etkilerine karşı ayakta kalan bir diğer Roma betonu örneği ise Julius Caesar adına adlandırılan Roma Senato Binası, Curia Julia'dır. Bu yapılar, Roma betonunun ne denli dayanıklı olduğunu göstermektedir.

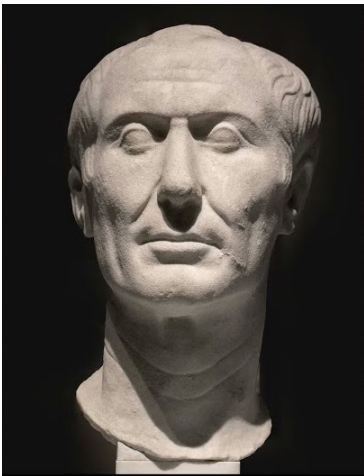


Resim 9. Curia Julia, Roma, MÖ 1. yüzyıl



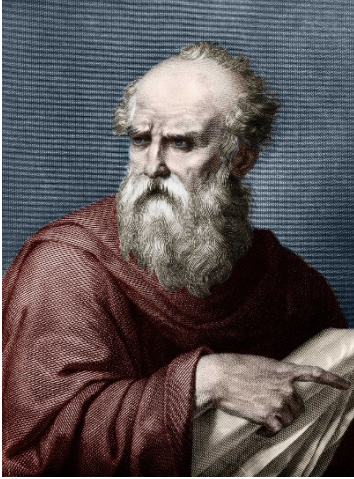
Resim 10. Marcus Porcius Cato

Marcus Porcius Cato (MÖ 234 - 149), Romalı bir senatör ve tarihçidir. Ataları gibi Cato da orduda görev yapmadığı zamanlarda tarıma adanmış bir yaşam sürmüştür. "Tarım Üzerine" adlı eseri, tarım ve yönetim kuralları içeren bir derlemedir. Cato, tarım yaparken inşa edilecek yapılar ve süreçler hakkında ayrıntılı bilgiler sunmuştur. Kirecin veya betonun Roma'da ilk kullanımına ilişkin net bir tarih bulunmamakla birlikte, Cato'nun yazıları büyük bir kireç fırınının inşasını ve işleyişini ayrıntılarıyla anlatmaktadır. Kireç ocaklarının yapımında dikkat edilmesi gereken hususlar, ateşin sürekli yanmasını sağlamak ve kaliteli taş kullanmak gibi önemli talimatlar içermektedir. Bu talimatlar, kireç ocaklarının verimli ve etkili bir şekilde inşa edilmesi için gerekli olan önemli detayları içermektedir.



Resim 11. Marcus Terentius Varro

Marcus Terentius Varro, antik Roma'nın önemli bir bilgini ve yazarlarından biriydi. Pompey'in yanında iç savaşta görev yaptıktan sonra, MÖ 48'de Pharsalus Savaşı'ndan döndüğünde, zafer kazanan Julius Caesar tarafından Yunan ve Latin edebiyatının kamu kütüphanesini kurmak için görevlendirilmiştir. Büyük bir bilgi birikimine sahip olan Varro, oldukça üretken bir yazardı. Toplamda yaklaşık 620 kitabı olmasına rağmen günümüze ulaşan tek tam eseri "Rerum rusticarum libri tres" (Tarım Üzerine Üç Kitap), deneyimli ve başarılı bir çiftçinin gördüğü ve uyguladığı her şeyi kaydettiği iyi düzenlenmiş bir sistem olarak tanımlanmıştır. Kitabının XI. Bölümünde toprak karışımına eklenen ve ince toprak karışımından yapılmış bir sıva türü olan "signino"dan bahsedilmektedir. LVII. Bölümde ise "marmorato" hakkında notlar yer almaktadır. Marmorato, beyaz mermer tozu (opus alharium) ile yapılan bir çimentodur ve genellikle evlerin iç duvarları gibi alanların son katmanı olarak kullanılmaktadır. Bu malzeme neredeyse doğal mermer kadar serttir.



Resim 12. Marcus Vitruvius Pollio

Marcus Vitruvius Pollio; Romalı bir yazar, mimar, inşaat mühendisi ve askeri mühendis olarak bilinmektedir. MÖ 58 ile 51 yılları arasında Julius Caesar için askeri mühendis ve mimar olarak görev yapmıştır. "Mimarlık Üzerine On Kitap" olarak bilinen çok ciltli eseri "De Architectura" ile tanınmaktadır. Yüzlerce yıl kayıp olan bu kitabın parçaları 1300'lü yıllarda ortaya çıkmaya başlamıştır. 1414 yılında, İtalyan bilgini Poggio Bracciolini, bu eseri bir İsviçre manastırında bulmuştur. 1450 yılında, Leon Battista Alberti, mimarlık üzerine olan önemli eserinde bunu yayımlamıştır. Daha sonra birçok dile çevrilen kitabın ilk illüstrasyonlu baskısı ise 1511 yılında Giovanni Giocondo tarafından Venedik'te yayımlanmıştır.

Vitruvius, eserinde birçok farklı inşaat malzemesini tanımlamış ve beton ile kireç üzerinde derinlemesine açıklamalar yapmıştır. II. Kitap; tuğla, kum, kireç, puzolan ve taş ocakları hakkında farklı bölümler içermektedir. Puzolanlarla ilgili olarak şunlar yazmaktadır: ***"Doğal nedenlerden dolayı şaşırtıcı sonuçlar üreten bir tür toz vardır. Bu, Baiae çevresinde ve Vezüv Dağı etrafındaki kasabalara ait bölgede bulunur. Bu madde, kireç ve moloz ile karıştırıldığında, sadece diğer türdeki binalara güç katmakla kalmaz, aynı zamanda denizde inşa edilen ayaklar bile su altında sertleşir. Bunun nedeni, bu bölgelerdeki dağların eteklerindeki toprağın sıcak su kaynaklarıyla dolu olmasıdır. Bu nedenle, içten gelen sıcak ateş ve alevlerin sıcaklığı, o bölgedeki toprağı hafif hale getirir ve burada bulunan tuf, süngerimsi ve nemden arınmıştır. Böylece, ateşin gücüyle benzer bir prensipte oluşan bu üç madde karıştırıldığında, aniden alınan su onları birleştirir ve hızla sertleştirir, böylece dalgaların veya suyun gücünün çözmeyeceği bir kütle haline gelir."***

Vitruvius'un çalışmaları, mimarlık ve mühendislik alanında önemli bir referans kaynağı haline gelmiş ve sonraki dönemlerdeki mimarları ve sanatçıları derinden etkilemiştir.

Batı Roma İmparatorluğu'nun MS 476 yılında yıkılması, Avrupa tarihindeki önemli bir dönüm noktasını işaret etmektedir. Merkezi otoritenin kaybı, siyasi ve kültürel yapıların parçalanmasına yol açmıştır. Bu çalkantılı dönemde; Vizigotlar, Vandallar, Angllar, Saksonlar, Franklar, Ostrogotlar ve Lombardlar gibi çeşitli Cermen kabileleri, Roma İmparatorluğu'nun kalıntılarına saldırarak yerleşmiştir. Bu akınlar, Roma medeniyetinin ve kurumlarının çöküşüne önemli ölçüde katkıda bulunmuştur. Özellikle dayanıklı beton yapılar için hayati öneme sahip olan puzolan çimentosu gibi gelişmiş inşaat tekniklerinin kaybı, mimarlık ve mühendislik üzerinde uzun süreli kalıcı etkiler bırakmıştır. MS 532-537 yılları arasında inşa edilen kubbeli bir ibadet yeri olan Ayasofya, monolitik olarak inşa edilen son büyük Roma yapısıdır.

Horasan harcının tarihçesi, antik dönemlere kadar uzanmaktadır ve çeşitli kültürler tarafından kullanılmıştır. Horasan harcı, kireç ve doğal puzolan (volkanik kül) karışımından oluşan bağlayıcı bir malzemedir. Genellikle yanmış tuğla veya killi toprak eklenerek güçlendirilmektedir. Bu harç, suya dayanıklılığı ile bilinmektedir. Bu nedenle inşaatta özellikle su yapıları ve anıtsal binalarda tercih edilmiştir. Horasan harcı, Roma mimarisinin etkisiyle gelişmiş ve özellikle Orta Çağ boyunca Bizans, Selçuklu ve Osmanlı İmparatorluğu dönemlerinde önemli bir yapı malzemesi olmuştur. Osmanlı İmparatorluğu, 15. yüzyıldan

itibaren Rumelihisarı ve Süleymaniye Camii gibi anıtsal yapılarında horasan harcını kullanmaya başlamıştır. Horasan harcı, mimari estetik ve dayanıklılık açısından büyük bir öneme sahip olmuştur.

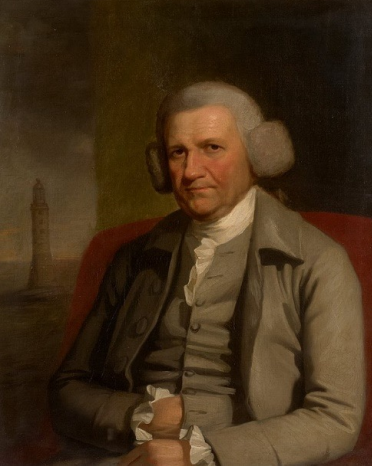
Rönesans döneminin öncülerinden biri olan Giovanni Giocondo; mimar, mühendis, antikacı, arkeolog, klasik bilimci ve Fransisken bir rahip olarak tanınmıştır. 1511 yılında, Vitruvius'un "Mimarlık Üzerine" adlı eserini kapsamlı notlarla ve zengin illüstrasyonlarla yayımlamıştır. Aynı zamanda Kral Louis XII'nin kraliyet danışmanıydı. Kral, Notre Dame Katedrali yakınında Seine Nehri üzerinde bir köprü istemiştir. Giocondo, 1000 yıl sonra ilk kez, Pont Notre Dame'ın ayaklarını inşa etmek için Roma'nın hidrolik çimento tarifini kullanmıştır. Bu yeniden keşif, Rönesans dönemindeki mimari ilerlemelerde kritik bir rol oynamış ve klasik bilgi ve tekniklere olan ilgiyi yeniden artırmıştır.

Doğal puzolan anlamına gelen tras, Almanya'da Andernach yakınlarındaki Brohl köyünde bulunan volkanik tüfün yerel adıdır. Bu malzeme, hidrolik harç üretiminde kullanılmaktadır. Gri veya krema renginde, çoğunlukla pomza tozundan oluşan parçalı bir kayadır ve trahitik tüf olarak değerlendirilmektedir. Bu taşlar inşaat için oldukça uygundur. Toz haline getirildiğinde mükemmel bir puzolan işlevi görmekte, kireç ve kumla karıştırıldığında hidrolik bağlayıcı olarak kullanılmaktadır. 16. yüzyılda, Andernach'taki insanlar trasın değirmen taşı oymak için ideal olduğunu keşfetmişlerdir. Bazıları, kireç harcında kum yerine toz halindeki trası kullanmayı denemiş ve kuruduktan sonra, bunun normal harçtan daha sert olduğunu fark etmiştir.



Resim 13. Brohl'de yer alan tras mağaraları

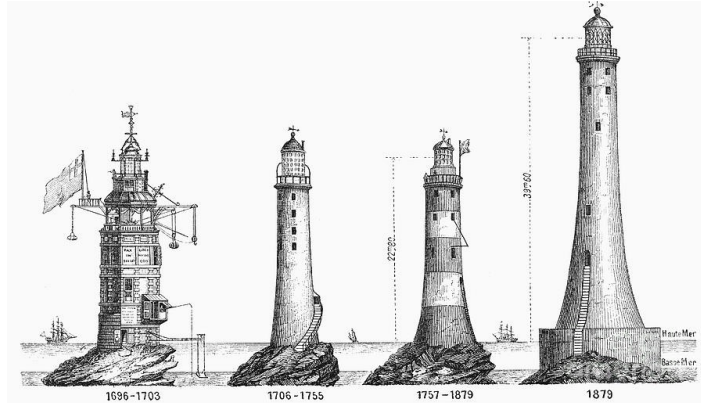
17. yüzyılın sonları, Hollanda'nın "Altın Çağı" olarak bilinmektedir. Bu dönemde, tras ticareti büyük önem kazanmıştır. Hollandalılar, bu maddeyi büyük kütleler halinde elde edip, yel değirmenleri aracılığıyla çok ince bir toz haline getirmişlerdir. Trası kireçle karıştırmayı deneyen Hollandalılar, bunun hidrolik özellikler taşıdığını keşfetmişlerdir. Bu hidrolik malzemenin ticari potansiyeli fark edilince Fransızlar ve Britanyalıları satmaya başlamışlardır. Bazı yazarlar bu malzemeye "Hollanda Trası" adını vermektedir.



Resim 14. John Smeaton

John Smeaton, İngiltere'nin Leeds şehrinin Austhorpe bölgesinde doğmuş bir inşaat mühendisidir. Smeaton, 1771 yılında Büyük Britanya'da İnşaat Mühendisleri Odasını kurarak inşaat mühendisliği mesleğinin kurucusu hatta babası olarak bilinmektedir. Roma'nın düşüşünden ve betonun sırlarının kaybolmasından 1000 yıldan fazla bir süre sonra, Smeaton nasıl çimento yapılacağını yeniden keşfetmiştir. İngiltere'nin güney kıyılarının hemen dışındaki Eddystone Kayalıkları'nda tehlikeli bir yerin üzerine bir deniz feneri inşa etmekle görevlendirilmiştir. Bu kayalar yüzlerce gemiyi batırmış ve binlerce ölüme neden olmuştur. Daha önce yapılan üç deniz feneri başarısız olmuştur. İlki dalgalar tarafından yıkılmıştır. İkincisi bir kasırga sırasında çökmüştür. Üçüncüsü de yanmıştır. Smeaton dünyanın en güçlü deniz fenerini inşa etmeye kararlıydı.

Deniz fenerini planlarken, su altı inşaatı için en iyi harcın yüksek oranda kil içeren kireç olduğunu keşfetmiş ve bu sayede hidrolik kirecin ne olduğunu ilk tanıyan kişi olmuştur. Bu durum nihayetinde Portland çimentosunun icadına yol açmıştır. Fener, 1756-1759 yılları arasında, Smeaton'un yüksek kil içerikli kireç ile ürettiği hidrolik kireç çimentosu ile inşa edilmiştir. Bu fener bir yüzyıldan fazla bir süre Eddystone Kayaları üzerinde durmuştur. 1882'de deniz feneri demonte edilerek yeniden betondan inşa edilmiştir. Smeaton, 1791'de "Eddystone Deniz Feneri'nin İnşası ve Yapısının Tanımı" adlı bir eser yazmıştır. Eddystone Deniz Feneri, dünya çapında ünlü olmuş ve o tarihten itibaren deniz fenerleri için standart bir tasarım haline gelmiştir. Smeaton, yeniliklerinin hiçbirini için patent almamış ve tasarımlarının kullanımından herhangi bir kazanç elde etmemiştir.



Resim 15. Eddystone Deniz Feneri'nin tarihsel süreci

James Parker, Britanyalı bir din adamı ve çimento üreticisidir. 18. yüzyılın sonlarında öncü yeni çimentoların icatlarından birine imza atmıştır. 1791 yılında "Tuğla, Karo, Kalker Yakma Yöntemi" için patent almıştır. İkinci patenti ise 1796 yılında, Smeaton'ın kitabının yayımlanmasından beş yıl sonra, "Su Yapıları ve Diğer Binalar ile Sıva İşlerinde Kullanılacak Belirli Bir Çimento veya Tras" için verilmiştir. Parker'ın ikinci patenti üzerine bazı şüpheler ve iddialar bulunmaktadır. Birçok kişi onun Smeaton'ın fikrini kopyalayıp modifiye ettiğine inanmaktadır. Parker'ın en ünlü patenti (Patent No. 2120) "Parker'ın Çimentosu" olarak adlandırdığı, daha sonra "Roma Çimentosu" olarak bilinen çimentodur. Parker'ın Roma

Çimentosu, Sheppy Adası'nda bulunan septaryan nodüller adı verilen taşların kalsinasyonu ile elde edilmiş ve klinkerlerin toz haline getirilmesiyle üretilmiştir. Parker, iki ölçü su ile beş ölçü çimento tozunu karıştırmayı önermiştir. Bu karışım, havada veya su altında yaklaşık yirmi dakikada sertleşmektedir. Bu çimentonu ilk büyük hacimli kullanımı, Thames Nehri altından geçen tünellerin harcı için olmuştur. Parker; çimento fabrikasını, patent haklarını ve kiralanan arazisini Samuel Wyatt ve Charles Wyatt'a satmıştır.

Samuel Wyatt, İngiliz bir mimar ve mühendistir. Charles Wyatt ise Samuel'in kuzenidir. Wyatlar, Londra'daki çimento fabrikasını "Parker ve Wyatt Çimento ve Sıva Üreticileri" olarak yeniden adlandırmıştır. Parker'ın ismi, Wyatlar'ın artık patent haklarına sahip olduğunu duyurmak amacıyla korunmuştur. Bu yeni çimento (Smeaton'ın keşfi, Parker'ın tartışmalı patenti ve Wyatt'ın sağlam iş uygulamaları) Britanya inşaat endüstrisini altmış yıl boyunca etkilemiştir. Parker ve Wyatt şirketi 1846 yılında iflas etmiş ve Northfleet tesisi William Aspdin'in şirketine satılmıştır. Aspdin, tesisi Portland çimentosu üretimine dönüştürmüş ve tesis, bu rolünü 1901 yılına kadar sürdürmüştür.

Charles Francis, Londra'nın Vauxhall bölgesinde yaşayan bir mimar ve tuğla, mermer ve çimento tüccarıydı. Parker'ın patentinin süresi dolduğunda (patent sadece 14 yıl geçerliydi) birçok kişi gibi o da bu durumdan faydalanmıştır. 1808'den itibaren, Wyatt'ın çimentosuna eş değer bir Roma çimentosu üretme planları yapmaya başlamıştı. Bunun için daha verimli bir fırın tasarlamıştır. 1809'da John Bazely White ile yasal bir ortaklık kurarak "Francis & White" adında yeni bir şirket kurmuştur. İlk fırın, 21 Haziran 1810'da Nine Elms'te (Londra) faaliyete geçmiş ve Britanya'da Roma çimentosu üreten en başarılı firmalardan biri haline gelmiştir.



Resim 16. Louis Vicat

Louis Vicat, çimentonun kimyasal temelini oluşturan önemli bir Fransız mühendistir. 1817 yılında toz kireci, kil ve su ile karıştırdığında birkaç gün içinde sertleşen yapay bir çimento geliştirmiş ve çalışmalarını 1818'de Bilim Akademisi'ne sunmuştur. Bu yeni yapay çimento ile Dordogne Nehri üzerindeki Souillac Köprüsü (1812-1822) inşa edilmiştir. Vicat, icadını patent başvurusu yapmadan dünyaya sunmuştur. Vicat'ın en önemli katkısı, silika varlığının hidrolik kireç üretiminde hayati önem taşıdığını göstermesi olmuştur. Ayrıca, puzolanın alüminyum silikat olduğunu ve harçtaki kireç ile reaksiyona girdiğini keşfetmiştir. Vicat, çimentoların ve betonların priz sürelerini de incelemiştir. Günümüzde dahi priz süresinin belirlenmesinde kullanılan Vicat İğnesini icat etmiştir.

Canvass White, Amerikalı bir mühendis ve mucittir. "Rosendale Çimentosu"nun patentini almış ve bu çimento, 1900 yılına kadar Amerika Birleşik Devletleri'nde en yaygın çimento olmuştur. 1816 baharında, Benjamin Wright'ın liderliğindeki Erie Kanalı mühendislik ekibine katılmıştır. Kanal projesi komisyonu, kanalın inşasında kullanılacak uygun çimentoyu temin etmekte önemli zorluklar yaşamış ve nihayetinde gerekli malzemenin İngiltere'den ithal edilmesi önerilmiştir. Bu da önemli maliyetler getirecekti. Ancak, White bu konuya dikkatini vermiş ve tekrar eden deneylerin ardından, Madison County'de bulunan bir ham maddeden tam olarak amaca uygun bir hidrolik çimento üretmiş ve 1820 yılında patentini almıştır.



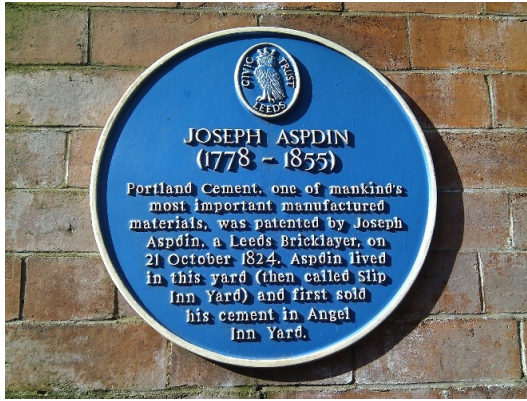
Resim 17. Eski Erie Kanalı'nda yer alan hatıra plaketi

James Frost, yapay çimento formülasyonları üzerinde deneyler yapan Britanyalı bir çimento üreticisiydi. Amacı, Roma çimentosuna daha ucuz bir alternatif geliştirmekti. 1822 yılında “İngiliz çimentosu (British Cement)” adını verdiği yeni bir çimento türü için patent almıştır. Ham maddelerin yaş öğütülmesi konusunda yenilikler yapmıştır. 1825 yılında hem Roma çimentosu hem de İngiliz çimentosu üretmek için Kent'teki Swanscombe'da bir tesis kurmuştur. 1832 yılında tesisi John Bazely White'a satmıştır. Çimento veya yapay taş için belirttiği spesifikasyonunda şunları belirtmiştir: ***“Bu icadımın amacı için tamamen veya neredeyse alüminyum veya kil toprak karışımından arındırılmış kireç taşlarını veya mermerleri veya magnezyum kireç taşlarını seçiyorum ve bu malzemelerin silisli toprak veya silika veya silika ile demir oksit kombinasyonlarını içermesini sağlıyorum. Silika fazla olmalı ve ince parçalar halinde bulunmalıdır. Seçilen bu malzemeleri küçük parçalara kırıyorum ve ardından kalsine ediyorum. Kalsine edilmiş malzeme, kuru maddeleri ince toz haline getirmek için uygun herhangi bir makine ile öğütülmelidir. Açığa çıkan toz, çimento veya yapay taş yapmak için kullanılacak malzemedir ve kuru paketlerde saklanmalıdır. Kullanıldığında, su ile karıştırılmalı ve sıradan harç kıvamına getirilmelidir. Küçük miktarlarda karıştırılmalı ve hemen kullanılacağı yere uygulanmalıdır, çünkü birkaç dakika içinde parmak izine dayanacak şekilde sertleşir ve yavaş yavaş taş gibi bir yapıya dönüşür. Birçok amaç için, kullanıma hazır hale getirildiğinde temiz silisli kum eklenmesi faydalı olabilir. Çimentonun rengi, seçilen malzemelerdeki demir oksidi miktarına bağlı olarak açık veya koyu olacaktır. Açık renk, kuru alanlar için en uygun olanı; koyu renk ise ıslak alanlar için en uygun olandır. İcadımın, yukarıda tarif edilen şekilde silisli kireçtaşları veya mermerlerden çimento veya yapay taş yapma amacı taşıdığını ve buna İngiliz çimentosu adını vereceğimi beyan ederim.”***

Egor Cheliev, Rus bir inşaatçıdır. Genç yaşlarında arazi ölçümcüsü olarak çalışmıştır. 1801 yılında Moskova'ya gitmiş ve 1812'de Napolyon'un istilası sırasında yanmış olan Moskova'yı tasarlamak ve restore etmekle görevlendirilmiştir. Kireç ve kil karıştırarak, Portland çimentosuna benzer özelliklere sahip bir hidrolik bağlayıcı icat etmiştir. 1822'de “İyi Bir Harç Hazırlama Sanatı Üzerine Bir Risale” adlı kitabı, 1825'te ise “Su Altı Yapıları için Uygun Fiyatlı ve Üstün Güçte Bir Harç veya Çimento Hazırlama Üzerine Tam Talimatlar” adlı eserini yayımlamıştır. Bu eserde çimentonun bileşimini ve hazırlama yöntemini açıklamıştır.

PORTLAND ÇİMENTOSU: 200 YILLIK SERÜVEN

1824 yılında İngiltere'nin Leeds kentinde, Joseph Aspdin isimli bir duvarcı ustası hazırladığı ince taneli kil ve kalker karışımını pişirerek ve daha sonra öğütürerek bağlayıcı bir ürün elde etmiştir. Bu ürüne su ve kum katıldığında ve zamanla sertleşme olduğunda, ortaya çıkan malzemenin İngiltere'nin Portland adasından elde edilen yapı taşlarını andırdığını gören Joseph Aspdin, elde ettiği bu bağlayıcı için 21 Ekim 1824 tarihinde "Portland Çimentosu" adı altında 5022 nolu patenti almıştır. Bu bağlayıcı daha sonraki yıllarda büyük gelişmeler gösterse de "Portland" ismi aynen korunmuştur. Joseph Aspdin'in icat ettiği çimento, yalnızca harçlarda ve sıvalarda kullanılabilen hızlı sertleşen bir malzemeydi.



Resim 18. Aspdin'in yaşadığı yerdeki anıt



Resim 19. Joseph Aspdin tarafından Portland çimentosu için alınan patent belgesi

Aspdin 1825 yılında Wakefield kasabasında "Aspdin and Beverley" isminde bir çimento imalathanesi kurmuştur. John Beverley ile ortaklığı bitince 1838 yılında tüm hissesi ailesine ait olan "Joseph Aspdin and Co." isimli şirketi kurmuştur.

Aslında Joseph Aspdin tarafından üretilen çimento, üretim sırasında yeterince yüksek sıcaklıklarda pişirilmediği için bugünkü Portland çimentosunun özelliklerine tamamen sahip olamamıştır. Yine de İngiltere Kirkgate İstasyonu'nun yanında halen ayakta olan "Wakefield Arms" binasının Joseph Aspdin'in tasarladığı çimento ile yapıldığı belirlenmiştir. Aspdin'in Wakefield Fabrikasında üretilen çimentonun 1828'de Thames Nehri Tüneli ve 1859'da Londra Drenaj Kanalı'nın inşasında kullanıldığı bilinmektedir.



Resim 20. Wakefield Arms binası



Resim 21. William Aspdin

Joseph Aspdin'in küçük oğlu olan William Aspdin, Portland çimentosu endüstrisinin öncüsüdür. 1829 yılında babasının çimento üretim firmasında çalışmaya başlamış, ancak babasıyla büyük bir anlaşmazlık yaşadktan sonra firmadan ayrılmıştır. William Aspdin'in çıraklık döneminden önceki eğitimi, babasınınkinden daha iyiydi. Babasına oranla daha konuşkan ve ikna edici olan William, yatırımcıların ilgisini çekme yeteneğine sahipti. Bu sayede çimento endüstrisinde çok ileri gitmiş ve büyük bir servet kazanmıştır. William, 1843'te Londra yakınlarındaki Rotherhithe'de bir üretim tesisi kurmuştur. Babasının çimento formülasyonunu, karışımındaki kireç taşı içeriğini artırarak ve çok daha yüksek pişme sıcaklığı uygulayarak geliştirmiştir. Yeni ürün betonda kullanıma uygun, daha yavaş sertleşen, yüksek mukavemetli bir üründü.

Bugün modern Portland çimentosu olarak adlandırılan bu ürün, mineralojik olarak babasınınkinden tamamen farklı olmasına rağmen; William, yeni bir patent almamış ve bu ürüne yeni bir isim vermemiştir. Bunun yerine yöntemlerinin ayrıntılarını gizli tutarak, ürünün babasının patenti kapsamında olduğunu iddia etmiştir. Bu çimento, erken dayanımdan sorumlu olan alit fazı (C_3S) içeren ilk çimentodur.

William Aspdin, tüm hayatı boyunca İngiltere ve Almanya'da birçok çimento şirketinin kurulmasına öncülük etmiştir.



Resim 22. Aspdin tarafından kullanılan çimento fırını, Kent, İngiltere

John Bazley White, Portland çimentosunun kullanımına öncülük eden bir İngiliz çimento üreticisiydi. 1832 yılında Charles Francis ile birlikte James Frost tarafından kurulan çimento üretim tesisini satın almıştır. Ortaklığı bitince de, James Frost'un Swanscombe'daki fabrikasını satın alarak J.B.White & Sons adlı yeni şirketini kurmuştur. White, 1845 yılında Portland çimentosu üretimine başlamıştır. Ayrıldıklarında Charles Francis'in oğlu Isaac Johnson, John White'ın yanında kalmış ve kısa süre sonra çimento işlerinin müdürü olmuştur. White'ın Portland çimentosu üretimi, büyük ölçüde ihracat pazarlarını güvence altına alarak genişlemiş ve Swanscombe, 80 yıldan fazla bir süre boyunca en büyük İngiliz Portland çimento üretim tesisi olmuştur.



Resim 23. Isaac Charles Johnson

Isaac Charles Johnson, Londra'da doğmuş bir İngiliz çimento üreticisidir. Kimya eğitimi alırken 16 yaşından itibaren babasının şirketinde işçi olarak çalışmaya başlamıştır. Joseph Aspdin ve William Aspdin tarafından üretilen çimentoların bileşimini çözmeye çalışmış, ancak bileşimin aşırı gizliliği nedeniyle başarılı olamamıştır. Johnson, John Bazley White ile ortaklık kurduktan yaklaşık iki yıl sonra başarılı olmuş ve kendi geliştirdiği çimentoyu pazarlamaya başlamıştır. William Aspdin, Johnson'ın üstün ve daha ucuz çimentosunun başarısının neden olduğu mali sorunlar nedeniyle işsiz kalmış ve bunun sonucunda Johnson, Aspdin'in Gateshead'deki çimento işlerini devralmıştır. Düşük su içeren ham karışım bulamaçlarının üretimi, fırınlar ve endüstriyel bacalar için yeni tasarımlar dahil olmak üzere birçok yeniliğe öncülük etmiştir.

Johnson, karışımın fırında sinterlenmesinin önemini ortaya koyan ilk kişidir. Johnson'un şirketi 60 yıl boyunca İngiliz çimento endüstrisinde büyük ve başarılı bir oyuncu olarak kalmıştır. 1872 yılında "Portland ve diğer çimentoların geliştirilmesi" isimli 1583 nolu patenti alan Johnson'un ürettiği çimentonun günümüzdeki Portland çimentolarına daha benzer olması bazı otoritelerin onu modern Portland Çimentosunun mucidi olarak görmesine neden olmuştur. Johnson da 100 yıllık ömrünün sonuna dek Portland çimentosunu kendisinin keşfettiğini iddia etmiştir.

1850'li yılların başında Fransa, Belçika ve Hollanda'da ilk Portland çimentosu fabrikaları kurulmaya başlanmıştır. 1857 ve 1862 yıllarında Almanya'da kurulan fabrikalarda William Aspdin'in katkısı olmuştur.

Joseph Louis Lambot, Fransız bir mucit ve çiftçiydi. Betonarmenin gelişmesine yol açan ferro-çimentoyu icat etmiştir. 1840'ların başında Lambot, çimento harcı ve demir takviye (tel veya çubuk) kullanarak, su depoları ve olukları inşa etmeye başlamıştır. 1848'de Lambot, aynı sistemi kullanarak ilk teknesini inşa etmiş ve bunu bir gölde test etmiştir. Bu teknenin patenti 30 Ocak 1855'te alınmış ve Paris'teki 1855 Dünya Fuarı'nda (Exposition Universelle) sergilenmiştir. Lambot'un teknesi batmış ve gölün dibindeki anaerobik çamurda yüz yıldan fazla kalmıştır. Daha sonra çıkarılan tekne, Maison Lambot'un bir kilometre güneyinde bulunan Brignoles Müzesi'nde korunmaktadır.



Resim 24. Joseph Louis Lambot tarafından ferro çimento ile yapılan tekne

François Coignet, Fransız bir sanayiciydi. Binaları inşa etmek için demir takviyeli betonu yani betonarme tekniğini kullanan ilk kişidir. 1853 yılında, Paris'te ilk betonarme yapıyı inşa etmiştir. Başlangıçta birçok insan, evin tehlikeli olabileceğini düşünse de yapı bugün hala ayakta ve tarihi bir anıt olarak hizmet etmektedir. Betonarmenin gelişimi Portland çimentosuna olan talebi giderek artırmaya başlamıştır.



Resim 25. François Coignet tarafından Paris'te inşa edilen ilk betonarme yapı

William B. Wilkinson, İngiltere'de betonarme yöntemiyle ilk evi inşa eden İngiliz inşaat mühendisi ve beton üreticisidir. Wilkinson, binaların inşasında yanmaya dirençli bir tekniğin yolunu aramıştır. Betona gömülü demir şeritlerle deneyler yapmıştır. 1854 yılında hizmetçileri için inşa ettiği iki katlı bir kulübenin zemininde kırık kok kömürü, kum ve Portland çimentosuna dayalı betonu güçlendirmek için demir çubuklar ve tel halat kullanmıştır. Bu yöntem başarılı olmuştur. Buluşun patenti 1854 yılında alınmıştır. Bu teknik talep görmüş ve York Tren İstasyonundaki beton platformlarda, mezbahalarda, süt ürünleri ve gıda fabrikalarının zeminlerinde kullanılmıştır.

Eli Whitney Blake, taş kırma makinesi icadıyla tanınan Amerikalı bir mucittir. 1852 yılında şehir sokaklarının yapımını denetlemek üzere atanmasından sonra taş kırmak için uygun bir makineye ihtiyaç olduğunu fark etmiştir. Blake, bu sorunu 1857 yılında taş kırıcı icadıyla çözmüştür. Blake'in makinesi, kırma mekanizmasını sağlayan sabit ve hareketli bir çeneden oluşmaktaydı. Bu tasarım, kırıcı operatörünün makineye basitçe taş beslemesini sağlamış ve çenelerin kapanma hareketi taşı istenen boyutta kırmaya imkân sağlamıştı. Blake, cihazını üretmek için Blake Rock Crusher firmasını kurmuştur. 1862 yılına gelindiğinde, Blake'in taş kırıcısı çimento endüstrisinde klinker kırmak için kullanılmaya başlanmıştır. 1879 yılında 500'den fazla makine kullanılıyordu.

Friedrich Hoffmann, Berlin doğumlu bir mühendistir. 1858 yılında tuğla yapımı için bir fırının patentini almıştır. Bu fırın daha sonra kireç yakmak için de kullanılmıştır. Hoffmann, icadını "her türlü tuğla, seramik ürün, kireç, tebeşir ve benzerleri için yuvarlak şekilli sürekli beslemeli bir pişirme fırını" olarak nitelendirmiştir. Klasik bir Hoffmann fırınında ateş, yıllarca hatta on yıllarca sürekli yanabilmektedir. Hoffmann fırınında benzin, doğal gaz, ağır petrol ve odun yakıtı dahil olmak üzere herhangi bir yakıt kullanılabilir. Döner fırınlardan önce klinker üretiminde Hoffmann fırınları yaygın bir şekilde kullanılmıştır.



Resim 26. Hoffmann fırını

Emil Langen Alman bir girişimcidir. Troisdorf şehrindeki bir demir fabrikası olan Friedrich-Wilhelm-Hütte'nin yönetimini devralmıştır. 1862 yılında Langen, granüle yüksek fırın cürufunun gizli hidrolik aktivitesini keşfetmiştir. Başlangıçta cüruf, kireçle aktive edilmiştir. Altı yıl sonra Almanya'da ilk kez bir cüruf-kireç çimentosu tanıtılmıştır. Bu bağlayıcı daha çok tuğlalar için kullanılmaktaydı; ancak 1862 yılında Emil Langen, bu malzemenin su yollarının yapımında kullanılmasının paha biçilmez olduğunu açıklamıştır.

Yüksek fırın cürufunun tarihsel gelişimi:

- 1774 - Yüksek fırın cürufu sönmüş kireçle beraber harç yapımında ilk kez kullanılmaya başlanmıştır.
- 1862 - Yüksek fırın cürufunun bağlayıcı olma özelliği Emil Langen tarafından Almanya'da bulunmuştur.
- 1865 - Öğütülmüş yüksek fırın cürufu kireçle karıştırılarak Almanya'da üretilmeye başlanmıştır.
- 1880 - Öğütülmüş yüksek fırın cürufu Almanya'da klinker ile üretilerek satılmaya başlanmıştır.
- 1888 - Yüksek fırın cürufu çimento Almanya'da üretilmeye başlanmıştır.
- 1889 - Yüksek fırın cürufu çimento Fransa'da yer altı metrosu yapımında kullanılmıştır.
- 1896 - Yüksek fırın cürufu çimento Amerika'da üretilmeye başlanmıştır.
- 1917 - Yüksek fırın cürufu çimento ile ilgili ilk standart Almanya'da yürürlüğe girmiştir.
- 1950'ler - Yüksek fırın cürufu çimento ile birlikte beton üretiminde Amerika'da, İngiltere'de, Güney Afrika'da, Avustralya'da, Japonya'da ve Kanada'da kullanılmaya başlanmıştır.

Joseph Monier, Fransız bir bahçıvandı ve betonarmenin başlıca mucitlerinden biriydi. Ahşap sandıklar ve saksıların oldukça hızlı yıpranması onu bu konuda yeni arayışlara yönlendirmiştir. Bu nedenle, temel olarak Lambot ile aynı mantıkta tel kafes ile güçlendirilmiş çimentolu karışım kullanarak saksılar, sandıklar, borular ve su depoları üretmek için denemeler yapmıştır. Bu konuda ilk patenti 1867 yılında almıştır. Daha büyük su depoları, merdivenler, çitler, kirişler, zeminler, kanalizasyon boruları ve hatta "hijyenik ve ekonomik, portatif

evler” için 1861’den 1891’e kadar çok daha fazla sayıda (on sekiz adet) patent almıştır. 1877 ve 1878 yıllarında su kemerleri, kirişler, yaya köprüleri ve demiryolu traversleri için aldığı patentlerde Monier, **“onlara vermek istediğim güce göre, herhangi bir boyut ve kalınlıkta yuvarlak veya kare demir çubuklardan oluşan bir çerçeve”** tanımını yapmıştır. Bu tanım, modern donatı için ilk demir tel örgülerden (kafes) çok daha yakındır. Bununla birlikte, Monier önemli bir başarıya ulaşırsa da muhtemelen donatı ile güçlendirme mekanizmasını tam olarak kavrayamamıştır. Örneğin, kiriş veya döşemelerdeki donatı çubuklarının çekme gerilmesi altındaki alt bölgelerde olması gerektiğini fark edememiştir.



Resim 27. 1875 yılında Fransa’da Monier tarafından tasarlanmış Dünya’nın ilk betonarme köprüsü

David O. Saylor, 1871 yılında Portland çimentosu için ABD’de ilk patenti alan girişimcidir. Ayrıca, klinkerleşmenin önemini gösteren de ilk kişidir. 1866 kışında Esias Rehrig tarafından çimento işine girmeye ikna edilmiştir. 1867 baharında, David O. Saylor, Esias Rehrig ve Adam Woolever, Coplay Pennsylvania’da 30 dönüm üzerinde Coplay Cement Company adındaki çimento fabrikasını kurarak çimento üretmeye başlamıştır. Saylor, 1871 yılında ABD’de Portland tipi çimentonun üretilmesini sağlayan kişi olmuştur. Coplay Cement Company, 1876’da Philadelphia’daki Centennial Sergisi’nde en yüksek kalite ödülünü almış ve 1885 yılına kadar ABD’deki tek Portland çimentosu üreticisi konumunu korumuştur.



Resim 28. Coplay çimento fabrikasındaki fırınlar

1875 yılında Amerikalı makine mühendisi William Ward, ABD'deki ilk güçlendirilmiş evi tamamlamıştır. William Ward tarafından 1873-1875 yılları arasında inşa edilen ev, Amerika Birleşik Devletleri'nde tamamen betonarme olarak inşa edilen ilk yapıdır. Bina tamamen demir kiriş ve çubuklarla güçlendirilmiş Portland çimentosu esaslı betondan inşa edilmiştir. Sadece kapılar, pencere çerçeveleri ve döşemeler ahşaptır. Tamamlandığında, yakında çökeceğini bekleyen komşuları ona "Ward'ın Çılgınlığı" adını vermiştir. Zaman geçtikçe, rahatlığı ve dayanıklılığı belirginleştikçe, binanın adı "Ward'ın Kalesi" olarak değiştirilmiştir. Amacı sadece kendisi için bir ev inşa etmek değil; aynı zamanda karısının yangın korkusu nedeniyle güvenli hissetmesini sağlamaktı. Ward'ın başarısı ABD'de betonarmeye bakışı olumlu etkilemiştir. Bu da doğrudan çimento üreticileri için pazarın büyümesi anlamına gelmekteydi.



Resim 29. Ward'ın Kalesi, ABD

Bir İngiliz mühendis olan Thomas Crampton, kariyerine başlangıçta Marc Brunel ve daha sonra Great Western Demiryolu ile başlamıştır. Kendini kısa sürede lokomotif tasarımı geliştirmiştir. 1877 yılında Crampton, döner fırın için ilk patenti almıştır (No. 2438). Fırın tasarımı, modern fırınların birçok tanınabilir özelliğini bünyesinde barındırmaktaydı.

Thaddeus Hyatt, Amerikalı bir avukat ve mucittir. Hyatt, Amerika Birleşik Devletleri'nde betonarme konusunda öncülerden biri olarak öne çıkmaktadır. Hyatt, pek fazla inşaat yapmamış olsa da titiz ve yorulmak bilmeyen bir deneyci olarak, betonarmeye dair bilgiye önemli katkılarda bulunmuştur. 1870'lerde yangına dayanıklı malzemelerin arayışında olan Hyatt, beton içine yerleştirilmiş çelik kirişler ve bağlantılar üzerinde deneyler yapmıştır. Kirişleri ve levhaları ocak ısısına maruz bırakarak, ısının beton katmanlarına nüfuz etmesi için gereken süreyi belirlemiş ve bu verilerle bir termal grafik oluşturmuştur. Ayrıca, beton ve demirin genleşme ve büzülme faktörlerini karşılaştırmak için deneyler yapmış ve demir ile betonun genleşmesinin aynı olduğunu göstererek, betonarme kirişlerin yangın nedeniyle kopma tehlikesinden uzak olduğunu kanıtlamıştır. Bu keşif, Hyatt'ı modern betonarme tasarımına katkıda bulunanlar arasında ön sıralara yerleştirmiştir. 1877'de, çeşitli demir ve beton kombinasyonlarının testlerinin sonuçlarıyla birlikte, yanmaz yapı hakkındaki görüşlerini içeren "Demirle Güçlendirilmiş Portland Çimentosu Betonu ile Yapılan Bazı Deneylerin Hesabı" isminde bir kitap yayımlamıştır.

An Account of some Experiments with
PORTLAND-CEMENT-CONCRETE

COMBINED WITH IRON, AS A BUILDING MATERIAL.

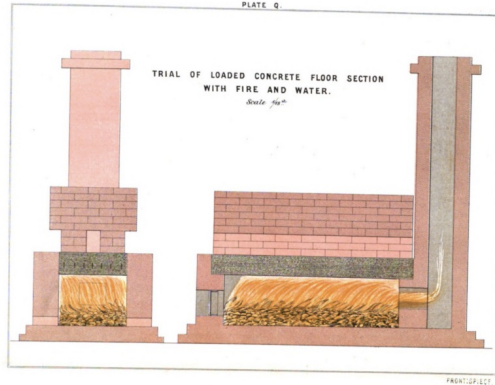
WITH
REFERENCE TO ECONOMY OF METAL IN CONSTRUCTION, AND FOR
SECURITY AGAINST FIRE IN THE MAKING OF ROOFS,
FLOORS, AND WALKING SURFACES.

BY
THADDEUS HYATT



LONDON:
PRINTED FOR PRIVATE CIRCULATION,
AT THE CHURCH PRESS,
1877.

NEW YORK
PUBLIC
LIBRARY



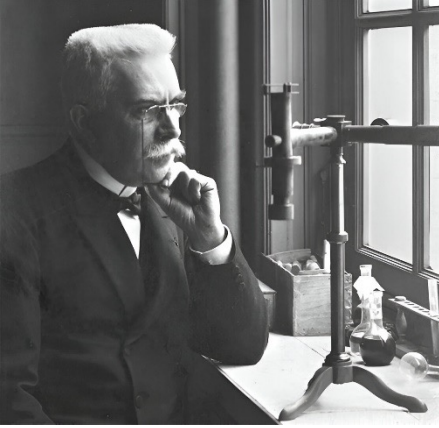
Resim 30. Hyatt'ın 1877 yılında yayımladığı çalışma

Frederick Ransome, İngiliz bir mucit ve sanayicidir. Alkali çözeltide kum ve toz çakmaktaşı kullanan “Ransome’un Yapay Taşı”nın (1844) mucidiydi. Karışımı kapalı bir buhar kazanında yüksek sıcaklıkta ısıtarak, kalıplanabilen ve işlenebilen bir malzeme elde etmiştir. Ransome, çimento sektöründe döner fırının geliştirilmesinde önemli katkılarda bulunmuştur. 1885 yılında ham maddeyi sürekli beslemek ve homojen ısıtma sağlamak için döner bir mekanizma kullanarak daha verimli çimento üretimi sağlayan eğimli bir yatay fırın tasarlayıp patentini (No. 5442) almıştır. Bu fırın, malzemenin bir uçtan diğer uca kademeli olarak hareket etmesi için döndürülebilmekteydi. Frederick Ransome tarafından tasarlanan 7,6 metre boyunda ve 1,5 metre çapındaki ilk döner fırın 1887 yılında İngiltere’de kullanılmaya başlanmıştır. Tasarımı 1891’den itibaren ABD’de başarılı fırınların temelini oluşturmuş ve daha sonra dünya çapında taklit edilmiştir.

Çimento üretiminde priz süresini ayarlamak için alçıtaşının kullanımına yönelik ilk çalışmalar 1865 yılında İngiliz Graham Smidth tarafından yapılmaya başlanmıştır. Smidth, %4,5 oranında alçıtaşı kullanarak olumlu sonuçlar almıştır. Üretimde alçıtaşı kullanımı 1890’lı yıllarda yaygınlaşmaya başlamıştır.

1877 yılında kurulan Alman Çimento Üreticileri Birliği (VDZ) tarafından 1878 yılında ilk çimento standardı yayımlanmıştır.

İngiliz bir mühendis, mimar ve betonarme yapı tekniğinin öncülerinden olan Ernest L. Ransome, Frederick Ransome’un oğludur. 1870 yılında İngiltere’den San Francisco’ya taşınmıştır. 1875 yılında “Ransome Concrete Machinery Company” adlı kendi şirketini kurmuştur. Diğer birçok buluşun yanı sıra, erken yaştaki rötire (büzülme) çatlaklarını önlemek için beton plakalara genleşme derzlerinin dahil edilmesine dair patent almıştır. Her şeyden önce, modern “inşaat demirinin” mucidi olarak kabul edilmektedir. 5 cm kalınlığında kare çubuklarla deneyler yaparak, bunları bükerek yalnızca betonu daha iyi kavramakla kalmayıp aynı zamanda daha yüksek bir çekme dayanımı elde edebileceğini keşfetmiştir. 1884 yılında “soğuk bükümlü” çubukları kullanan bir inşaat sistemi üzerine patent almıştır.



Resim 31. Henry Louis Le Chatelier

Henry Louis Le Chatelier, adı ile özdeşleşen Le Chatelier kimyasal denge ilkesini tasarlayan Fransız bir kimyagerdir. Çimento bilimini şekillendiren Le Chatelier, meslektaşları ve ardılları tarafından büyük saygı görmüş ve Amerikalı kimyager Bogue tarafından “çimento kimyasının babası” olarak tanımlanmıştır. Portland çimentosunun kimyası üzerine yaptığı çalışmalar temel öneme sahiptir. Mikroskopik ve kimyasal çalışmalarla klinkerin, hidrolik özelliklerin taşıyıcısı trikalsiyum silikat olan çok sayıda farklı mineral içerdiğini göstermiştir. 1887’de mevcut olan sınırlı hassas ölçüm araçlarıyla, bugün gerçek olarak kabul edilen pek çok noktayı keşfetmiştir. Alit fazı, 1887’de Le Chatelier tarafından $3\text{CaO}.\text{SiO}_2$ olarak çimento kimyası literatürüne girmiştir. Aynı yıl Le Chatalier, çimento üretmek için oksit oranlarını belirlemiştir.

Bu oksitlere alit (trikalsiyum silikat), belit (dikalsiyum silikat) ve selit (tetrakalsiyum alüminoferrit) adını vermiştir. Le Chatelier; çimento hamurunun sertleşmesinin, çimento ve su arasındaki reaksiyonun kristal ürünlerinin oluşumundan kaynaklandığını öne sürmüştür.

George Bartholomew, beton kaplamanın icadıyla tanınan Amerikalı bir mucittir. 1891 yılında Bartholomew, günümüzde de hizmet veren ABD’deki ilk beton yolu inşa etmiştir. Bu cadde için kullanılan beton, konut yapımında kullanılan modern betonun yaklaşık iki katı (55 MPa) basınç dayanımına sahiptir. Bartholomew, daha sonra çimentoya ilgi duymuş ve Ohio’da çimento üretiminin ana bileşenleri olan neredeyse saf kireçtaşı ve kil kaynakları bulmuştur. Çimento yapımında başarılı deneyler yaptıktan sonra Buckeye Portland Cement Co.’yu kurmuş ve beton kullanımını teşvik etmiştir.



Resim 32. Ohio’da günümüzde de hizmet veren ilk beton yol



Resim 33. Frederik L. Smidth

Frederik L. Smidth, Danimarkalı bir mühendis ve FLSmidth şirketinin kurucusudur. Şirketin odak alanı, çimento ve maden endüstrilerinde makine, know-how ve hizmet tedarik etmektir. Frederik L. Smidth, başlangıçta annesinin Kopenhag'daki dairesinde bir "Teknik Büro" kurmuştur. 1887'de çalışanlar Poul Larsens ve Alexander Foss şirkete ortak olmuş ve bu üç genç mühendis, inşaat sektörü için makineler geliştirmek üzere güçlerini birleştirmiştir. Zamanla çimento fabrikalarının inşasında hızla büyümüşlerdir. Smidth; çimento üretim süreçleri, otomasyon, kırıcı ve elek teknolojileri, öğütme teknolojileri gibi birçok alanda sektöre yenilikler getirmiştir. Wilhelm Michaëlis, beton teknolojisinin gelişiminde rol oynayan bir Alman kimyagerdir. Michaëlis başlangıçta Berlin Ticaret Akademisi'nde ve ardından Humboldt Üniversitesi'nde kimya eğitimi almış ve ardından doktorasını tamamlamıştır.

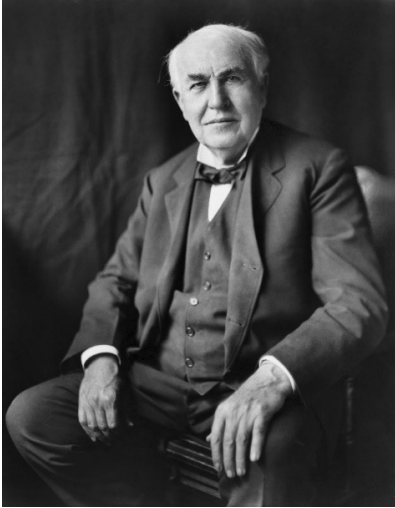
Wildau'daki Eberswalde şehrindeki Portland çimentosu fabrikasında çalışmaya başlamış ve çimento üretimi konusunda pratik deneyimler kazanmıştır. 1868'de Michaëlis'in tezi olan "Hidrolik Harçlar" kitap olarak yayımlanmıştır. Bu kitap, ham maddelerin en uygun karışımı hakkında ilk kez kesin bilgiler vermiş ve hemen büyük takdir görmüştür. Hidratlı metasilikatların zamanla sertleşmek için kuruyan jelatinimsi bir kütle oluşturduğunu bulmuştur. Michaëlis, çimento sertleşmesini tanımlamak için Kolloid Teorisini geliştirmiş ve bu sayede sertleşen çimentonun davranışını Henry Le Chatelier'in Kristal Teorisi'nden daha iyi açıklayabilmiştir. Michaëlis aynı zamanda, yüksek hidrolik değere sahip yüksek fırın cürufunun Portland çimentosu üretimi için katkı maddesi olarak değerlendirilmesi konusunda da çalışmıştır. 1872'de Michaëlis, iki ortağıyla birlikte yapı malzemeleri test laboratuvarı kurmuştur. 1875'te, çimentoların kalitesini değerlendirmek için 17 adet kriter belirlemiş ve yayımlamıştır. 1876'da kaliteli çimentonun karakteristiklerini Alman inşaat sektörünün yararına listeleyerek, 10 Kasım 1878'de Prusya İmar Bakanı tarafından tüm Almanya'da tek tip Portland çimento tedariki ve kontrolü için ilk normun yürürlüğe girmesinde görevlendirilmiştir. Özellikle 19. yüzyılın sonlarında W. Michaëlis'in çalışması, Portland çimentosu üretiminde kullanılan ham karışımın bileşimi için ilk nicel spesifikasyonlara yol açmıştır.

Alfred Elis Törnebohm, İsveçli bir jeologdur. 1873'ten 1874'e kadar Liepzig Üniversitesi'nde petrografik mikroskopi konusunda eğitim almıştır. Başarılı bir mineralog ve petrograf olan Törnebohm, 1897 yılında Portland çimentosunun kristal fazlarının kapsamlı bir açıklamasını sunmuştur. Törnebohm, Portland çimentosu klinkerinde Alit, Belit, Selit ve Felit olarak belirttiği dört farklı mineral bileşen tanımlamıştır. 1897'de "Portland Çimentosunun Petrografisi" isimli eserini yayımlamıştır.



Resim 34. Edwin Clarence Eckel

Edwin Clarence Eckel, New York'ta doğan Amerikalı bir mühendis ve jeologdur. 1896'da New York Üniversitesi'nden mezun olmuştur. 1907'de Eckel, inşaat mühendisi ve jeolog olarak Dominion Cement Company'ye katılmıştır. Edwin Clarence Eckel'in en önemli katkısı, ham maddelerin orantılaması için geliştirdiği "Eckel Kuralı" (çimentolama indeksi olarak da adlandırılır) olmuştur. Yayınlanmış eserleri arasında "Çimentolar, Kireçler ve Sıvalar" ve "Portland Çimentosu Malzemeleri ve İmalatı" bulunmaktadır.



Resim 35. Thomas Alva Edison

Thomas Alva Edison, Ohio'da doğan Amerikalı bir mucit ve iş adamıdır. Fonograf, ampul ve sinema filmi gibi kendi adına 1000'den fazla patenti vardır. 1899'da Thomas Alva Edison, yüksek kaliteli Portland çimentosu üreten bir şirket kurmuştur. Edison, çimento üretim sürecinde önemli iyileştirmeler yapmıştır. 1909'da Edison, ilk uzun döner fırın için patent almıştır. New Jersey, New Village'daki Edison Portland Çimento Fabrikası dünyanın ilk uzun döner fırınlarına sahipti. Bu süre zarfında, fırının standart uzunluğu 18 ila 27 metre arasındayken, Edison'un fırınları 46 metreye kadar çıkmıştı. Edison, buzdolabı ve piyano gibi eşyaları ve özellikle de pratik bir şekilde ev inşa etmek için betonu kullanmanın yollarını aramıştır. 1910'larda tek seferde beton dökerek monolitik evler inşa etmeye başlamıştır.



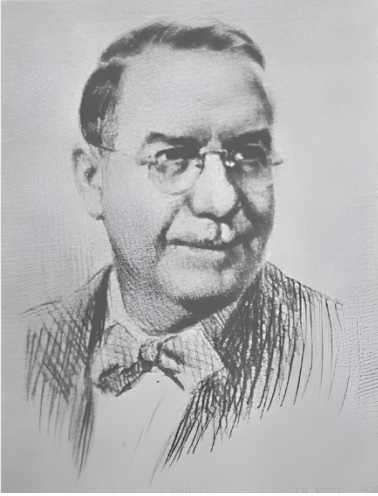
Resim 36. Edison'un tek döküm yöntemi ile inşa edilen evler (Indiana, ABD)

Amerikan Portland Çimento Birliği'nin (Portland Cement Association - PCA) kökeni 1902 yılına kadar uzanmaktadır. ABD'nin doğu eyaletlerindeki çimento üreticilerinin bir araya geldiği ve çimento paketleme sorunlarının tartışıldığı bir toplantıda tüm ilgili üreticileri temsil edecek geçici bir organizasyonun oluşturulmasını karar verilmiştir. Organizasyon gayri resmi olarak "Doğu Portland Çimento Üreticileri" olarak adlandırılmıştır. Portland Çimento Üreticileri Birliği olarak yeniden adlandırılan organizasyon, 20 çimento şirketinin temsilcileri tarafından New York'ta 23 Ekim 1902'de resmen kurulmuş ve tüzüğü kabul edilmiştir.

1880'li yıllarda Berlin ve çevresindeki inşaatlarda yapı ustaları; harç karışımları, atlı arabalarla şantiyeye taşımaktaydı ve bu karışım şantiyede beton haline getirilerek kullanılmaktaydı. Ancak; kum, çakıl, çimento ve suyun belli oranlarda karıştırılarak, inşaatta doğrudan kullanılmaya hazır bir malzeme halinde şantiyeye taşınmasını ilk kez Jürgen Hinrich Magens adında, Hamburg'lu bir yapı ustası başarmıştır. Hamburg Eyalet İdaresi'nde yapı işleri şefi olarak görev yapan Magens, "Hazır Betonun Bağlayıcılık Özelliğini Kaybetmeden Koruma İşlemi" fikrinin patentini aldığı tarih 10 Ocak 1903'ü gösteriyordu. Böylece, Almanca'daki adıyla "Transportbeton", yani "Taşıma Beton", Türkçe söylenişiyse de "Hazır Beton" inşaat sektöründe adeta bir devrim olarak yerini almış oldu. Hazır betonun 1903 yılında tarih kayıtlarına geçmesinden sonraki gelişimi çok hızlı olmuştur. Kısa zamanda yalnız Hamburg'da değil, Almanya'nın tümündeki inşaatlarda hazır beton kullanılmaya, pek çok bölgede hazır beton üreten tesisler kurulmaya başlamıştır. Hazır beton üretimi, Avrupa'dan ABD'ye ve daha sonra dünya geneline yayılmıştır.

Duff A. Abrams, beton teknolojisi alanında önde gelen Amerikalı bir araştırmacıdır. Portland Çimento Birliği'nin (PCA) araştırma laboratuvarının araştırmacısı, profesörü ve yöneticisiydi. Abrams, belirli bir beton karışımı için dayanımın, yalnızca, çimento miktarına kıyasla nispi su miktarına bağlı olduğunu gösteren veriler yayımlamıştır. Başka bir deyişle dayanımın, su/çimento oranının (w/c) bir fonksiyonu olduğunu ortaya koymuştur. 1918 yılından bugüne geçerliliğini koruyan bu prensip "Abrams Yasası" olarak bilinmektedir. Abrams, bunun dışında incelik modülü kavramını tanıtmış ve betonun işlenebilirliğini için bir test yöntemi (Abrams Konisi) geliştirmiştir. Engineering News Record'a göre Ohio'daki Big Four Demiryolu Köprüsü, beton karışımı tasarımının yapıldığı ilk büyük ölçekli projeydi. Bu projede Profesör Duff A. Abrams tarafından önerilen beton karışım tasarım yöntemi kullanılmıştır.

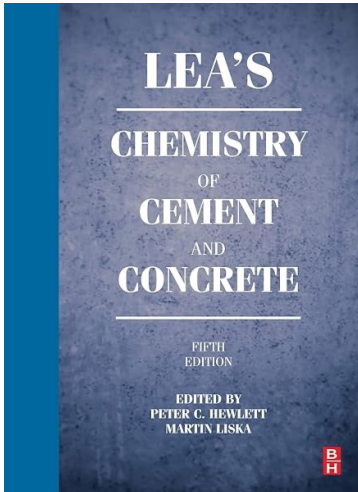
Johan Axel Eriksson, İsveçli bir mimar ve mucittir. 1923 yılında yapı malzemelerinin ısı yalıtımı üzerine araştırmalar yapmıştır. Eriksson; kalsine şist, çimento ve alüminyum tozunu karıştırarak, bu karışımı yüksek sıcaklık ve basınç altında bir otoklavda denemiştir. Sonuç, iyi yalıtım özelliklerine sahip hafif, gözenekli ama kompakt bir malzeme olmuştur. Dr. Eriksson, 1924 yılında yerel olarak "poren betong" olarak bilinen "gaz beton" için patent almıştır.



Resim 37. Robert H. Bogue

Robert H. Bogue, Amerikalı bir kimyager ve fizikçidir. 1924 yılında Portland Çimento Birliği (PCA) Fellowship'in direktörü olarak göreve başlamıştır. Bogue'un kişisel katkılarından biri, 1929 yılında yayımlanan "Portland Çimentosunda Bileşik Hesaplama"dır. Bu makalenin yayımlanmasından önce, klinker ve çimentoda bulunan bileşiklerin kompozisyonları hakkında çok sayıda tartışma vardı. Bogue hesaplama, Portland çimento klinkerindeki dört ana mineralin yaklaşık oranlarını hesaplamak için kullanılmaktadır. Standart Bogue hesaplama, çimento yerine çimento klinkerine atıfta bulunmaktadır, ancak çimento ile kullanılmak üzere de ayarlanabilmektedir. Hesaplamanın sonucu yalnızca yaklaşık bir değer olsa da, bu hesaplama çimento endüstrisinde son derece yararlı ve yaygın olarak kullanılan bir yöntem olmuştur. Hesaplama, dört ana klinker mineralinin saf mineraller olduğunu varsaymaktadır.

Bu varsayılan bileşimlerin, minerallerin gerçek bileşimlerine yalnızca yaklaşımlar olduğunu hatırlamak önemlidir.



Resim 38. Dr. Lea'nın kitabı

Frederick Marshall Lea, 1935 yılında Birmingham Üniversitesi'nden kimya alanında doktora derecesi almıştır. 20. yüzyılın en önemli çimento kimyası uzmanlarından biri olan Dr. Lea, silikat sistemlerinin yapısı ve çimentonun fizikokimyasal yönleri üzerindeki araştırmalarıyla tanınmaktadır. Birçok bilimsel komite ve kuruluştaki görev almıştır. En ünlü eseri "Chemistry of Cement and Concrete" adlı kitabını 1935 yılında yayımlamıştır. Bu eser, çimento kimyası ve teknoloji alanında önemli bir kaynaktır. Bu kitap, çimentonun kimyasal bileşenleri, üretim süreçleri ve bu süreçlerin malzeme özelliklerine etkileri hakkında derinlemesine bilgi sunmaktadır. Kitap ayrıca çimento türleri, hidratasyon süreçleri ve çimentonun dayanıklılığı gibi konuları da kapsamaktadır.



Resim 39. Raymond E. Davis

Raymond E. Davis, 1920'den 1952'ye kadar Kaliforniya Berkeley Üniversitesi'nde inşaat mühendisliği profesörü ve Malzeme Test Laboratuvarı'nın direktörü olarak görev yapmıştır. Mühendislik malzemeleri konusunda otorite olan Davis'in araştırmaları, Golden Gate ve San Francisco-Oakland Körfez Köprüleri ile Hoover ve Grand Coulee Barajları'nın inşasında önemli katkılar sağlamıştır. Betonda öncülük ettiği ve takdir topladığı birçok çalışma arasında hacim değişimleri ve sürekli yükler altında betonun plastik akışı ve puzolanların beton karışımlarında çimentonun kısmi yerine kullanılmasına dair araştırmalar bulunmaktadır. Kuzey Amerika'da uçucu külün beton içindeki kullanımıyla ilgili ilk kapsamlı veriler, Davis

ve arkadaşları tarafından 1937 yılında yayımlanan “Uçucu Kül İçeren Çimentoların ve Betonların Özellikleri” başlıklı makalede rapor edilmiştir. Araştırmalar, uçucu külün volkanik kül ile benzer puzolanik özelliklere sahip olduğunu ve kireç veya çimentolu karışımlarda kullanılmayı hak ettiğini ortaya koymuştur.

Carl Johan Bernhardt, Norveç’in Trondheim şehrindeki Norveç Teknoloji Enstitüsü’nde Beton Yapıları Bölümü profesörüydü. 1952 yılında yayımladığı “Çimentoya Katkı Olarak: SiO₂ Tozu,” başlıklı makalesi, beton içinde silis dumanı kullanımına dair ilk araştırma makalesi olarak kabul edilmektedir. Bernhardt, araştırmalarında çimentonun %30 oranına kadar ikamesiyle çalışmış ve bu durumda önemli bir basınç dayanım artışı rapor etmiştir. Ayrıca, %10-15 çimento değişimi olan beton karışımlarında sülfat ve donma-çözülme direncindeki iyileşmeleri de belgeleriyle desteklemiştir.

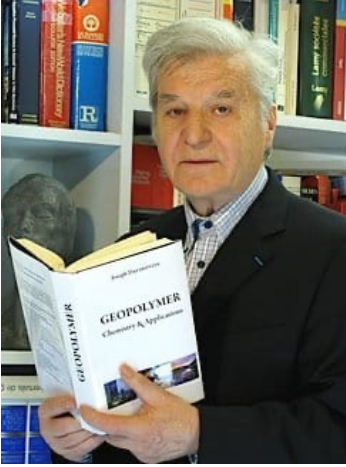
Avrupa Çimento Birliği (CEMBUREAU) 1947 yılında Stockholm’de kurulmuştur. Birliğin merkezi 1966 yılında Paris’e ve 1988 yılında ise Brüksel’e taşınmıştır. CEMBUREAU, Avrupa’daki çimento endüstrisinin sürdürülebilirliğini, çevresel etkilerini ve enerji verimliliğini artırmayı hedeflemektedir. Çimento üretimi ve kullanımıyla ilgili politikalar geliştirmek, araştırmalar yapmak ve sektördeki en iyi uygulamaları paylaşmak gibi faaliyetlerde bulunmaktadır.



Profesör Adam M. Neville, **“beton üzerine en yüksek küresel otorite”** olarak kabul edilmektedir. Polonya doğumlu olan Adam, 15 yaşında İngiltere’ye gelerek İngilizce yazdığı bir makale ile British Council’den burs kazanmıştır. 1939’da ailesinin yanına dönmek için Polonya’ya gitmiştir. İkinci Dünya Savaşı’nın sona ermesinin ardından Neville, Britanya’ya dönmüş ve Londra’daki Queen Mary College’da mühendislik eğitimi almıştır. 1963 yılında Nijerya’da iken, mühendislik öğrencileri ve nitelikli mühendisler tarafından “Beton Kutsalı” olarak bilinen ve beton hakkında son söz olarak kabul edilen “Properties of Concrete” adlı temel kitabını yazmıştır. Kitap, 13 dile çevrilmiş ve bir milyondan fazla satmıştır. Adam, 1968 yılında Leeds Üniversitesi’nde Profesör ve İnşaat Mühendisliği Bölümü Başkanı olarak atanmıştır.

Resim 40. Adam M. Neville

Kadınları mühendislik eğitimi ve kariyerine teşvik etmesiyle tanınan bir yaklaşım sergilemiş, bu sayede bölümü ünlü hale gelmiştir. 1978’de üniversiteden ayrılarak Dundee Üniversitesi’nde Rektör ve Başkan olmuştur.



Resim 41. Joseph Davidovits

Joseph Davidovits, geopolimer betonun mucidi olarak tanınmaktadır. 1960 yılında Almanya'daki Mainz Üniversitesi'nde organik polimer kimyası alanında doktor unvanını kazanmıştır. Davidovits; geopolimer kavramını, 1979 yılında oluşturmuştur. Fransa'da bulunan kâr amacı gütmeyen bilimsel bir kuruluş olan Geopolimer Enstitüsü'nü kurmuştur. 1983 yılında Florida'daki Barry Üniversitesi'nde Kimya Profesörü olarak çalışmaya başlamış ve burada, değerli antik teknolojileri incelemek ve antik tarih anlayışını geliştirmek amacıyla Uygulamalı Arkeolojik Bilimler Enstitüsü'nü kurmuştur. 1983 ile 1989 yılları arasında, ABD'li Lone Star Industries ile iş birliği içinde PYRAMENT adında geopolimer çimentosunu ve ilgili çimento karışımlarını geliştirmiştir.

Hajime Okamura; 1966'dan 1998'e kadar Tokyo Üniversitesi'nde öğretim üyeliği yapmıştır. Okamura, 1986 yılında kendiliğinden yerleşen (sıkışan) beton fikrini öneren ve 1988'de Osawa ve Maekawa ile birlikte geliştiren "kendiliğinden yerleşen betonun babası" olarak tanınmaktadır. Okamura, dayanıklı yapıların oluşturulmasının, nitelikli işçiler tarafından yeterli sıkıştırma gerektirdiğini fark etmiştir. Japonya'nın inşaat sektöründeki nitelikli işçi eksikliği, inşaat kalitesinin düşmesine yol açmıştır. Bu sorunun çözümü, her yöne kendi ağırlığıyla ve sıkıştırma olmadan kendiliğinden yerleşen/sıkışan bir beton geliştirmek olmuştur. Kendiliğinden yerleşen betonun prototipi, 1988 yılında piyasada mevcut olan malzemeler kullanılarak tamamlanmıştır.

Mario Collepardi, 1961 yılında Roma'daki La Sapienza Üniversitesi'nde Endüstriyel Kimya alanında onur derecesi ile mezun olmuştur. Cagliari, Roma, Ancona ve Milano Politeknik Üniversitesi'nin Mühendislik Fakültesi'nde öğretim üyeliği yapmıştır. 1989 yılında, beton için süperakışkanlaştırıcı katkı maddeleri konusundaki "önemli katkılarından" dolayı CANMET/ACI ödülünü almıştır. Collepardi; yaklaşık 400 yayının, beton üzerine birkaç kitabın, beton karışım tasarımı yazılımının ve beton spesifikasyonlarının yanı sıra süperakışkanlaştırıcı katkı maddeleri, silika dumanı, genleşen çimentolar ve yapısal onarım harçları alanında beş uluslararası patentin sahibidir. Collepardi, "Puzolanik Kompozisyonlar" (No. 5762701, 1998) ve "Sıfır Akış Kaybı Süperakışkanlaştırıcı" (No. 5362324, 1994) gibi birçok patente sahiptir. Yayınları arasında en önemlileri şunlardır: "Beton Bilimi ve Teknolojisi" (1979), "Beton Karışım Tasarımı" (1990), "Beton Teknolojisinin Temelleri" (1991), "Özel Betonlar için Yenilikçi Malzemeler" (1990), "Beton Yapılarının Dayanıklılığı ve Restorasyonu" (1992), "Tarihi Binalardaki Malzemeler, Bozulma ve Restorasyon" (1991), "Yeni Beton" (2001) ve "Beton Karışım Tasarımı" (2008).

Pierre-Claude Aïtcin, Kanada'nın Quebec eyaletindeki Sherbrooke Üniversitesi Mühendislik Fakültesi İnşaat Mühendisliği Bölümü'nde Emekli Profesör olarak görev yapmaktadır. 1990'dan 1998'e kadar, yüksek performanslı beton üzerine Kanada'nın Mükemmeliyet Merkezleri Ağı olan "Concrete Canada"'nın Bilimsel Direktörlüğünü yapmıştır. Bu ağ, çeşitli Kanada eyaletlerinden 15 araştırma ekibini içermektedir. Aïtcin, beton endüstrisinde "yüksek performanslı betonun babası" olarak tanınmaktadır. Yüksek dayanımlı beton kavramı, 1970'lerde bazı yüksek binaların kolonlarında kullanılan betonun, o dönemde inşaatla kullanılan standart betondan daha yüksek basınç dayanımına sahip olmasıyla ortaya çıkmıştır. Aïtcin, yüksek dayanımlı beton fikrini yüksek performanslı

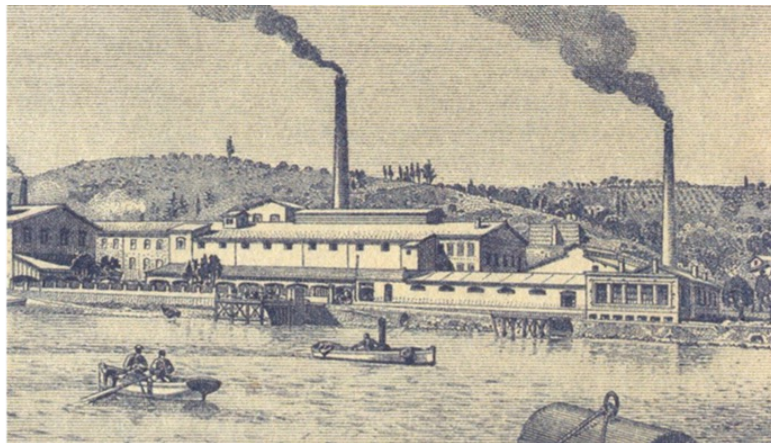
betona dönüştürmüştür. Bu tür beton, yalnızca yüksek dayanım değil; aynı zamanda yüksek akışkanlık, daha yüksek elastisite modülü, daha yüksek eğilme dayanımı, daha düşük geçirgenlik, geliştirilmiş aşınma direnci ve daha iyi dayanıklılık gibi özellikler de taşımaktadır. Bu gelişmeler, düşük su/çimento (bağlayıcı) oranı karışımlarının ve mineral katkıların kullanımını mümkün kılan süperakışkanlaştırıcıların gelişimi sayesinde olmuştur. AİTCİN, 1998 yılında "Yüksek Performanslı Beton" adlı kitabını yayımlamıştır.

TÜRKİYE'DE ÇİMENTO SEKTÖRÜNÜN GELİŞİMİ

19. yüzyılda Osmanlı İmparatorluğunda başlayan modernleşme ihtiyacında özellikle Batı medeniyetinin etkisi yüksek olmuştur. İmparatorluğun Batı'yı örnek alan mimari programı, özellikle İstanbul'da yeni yapı tiplerinin ortaya çıkmasına yol açmıştır. Bu süreçte, anıtsal dini ve saray yapılar yerini, büyük ölçekli askeri, eğitim, sanayi ve yönetim yapıları ile kâgir apartmanlara bırakmıştır. 19. yüzyılın sonları ile 20. yüzyılın başlarında İstanbul'daki yangınlar, imar yönetmeliklerinde değişikliklere yol açarak kâgir yapı sistemini teşvik etmiş, çimento ve beton ihtiyacına neden olmuştur. Demiryolu ve liman inşaatları da çimento kullanımını yaygınlaştırmıştır. Liman kentlerindeki ticaretin artışı ve nüfus yoğunluğu, inşaat sektörünü canlandırmış; bu da çimento talebinin yükselmesine neden olarak Avusturya, Almanya, Fransa ve Belçika'dan çimento ithalatını zorunlu hale getirmiştir. Çimento esaslı harç ve beton ihtiyacının artması sonucunda 20. yüzyılın ilk yıllarında çimento ihracatı yapan ilk şirketler kurulmuştur.

Türkiye'nin çimento sektörü ile tanışması ise esas olarak 1911 yılında özel sektör girişimi ile olmuştur. Dünyadaki diğer ülkelere göre çimento üretimine geç başlanması su kireci üretiminin yeterli olmamasından ve bu yılların Osmanlı İmparatorluğu'nun çöküş dönemlerine rastlamasından kaynaklanmaktadır.

Türkiye'de kurulan ilk çimento fabrikaları 1911 yılında kurulan Arslan Osmanlı Anonim Şirketi'ne ait Darıca Fabrikası (yaş sistem) ile Eskihisar Portland Çimento Fabrikası (kuru sistem) olmuştur. Bu fabrikalar yabancı sermaye ile kurulmuştur.



Resim 42. Eskihisar Çimento Fabrikası'nın 1920'lerdeki görünümü

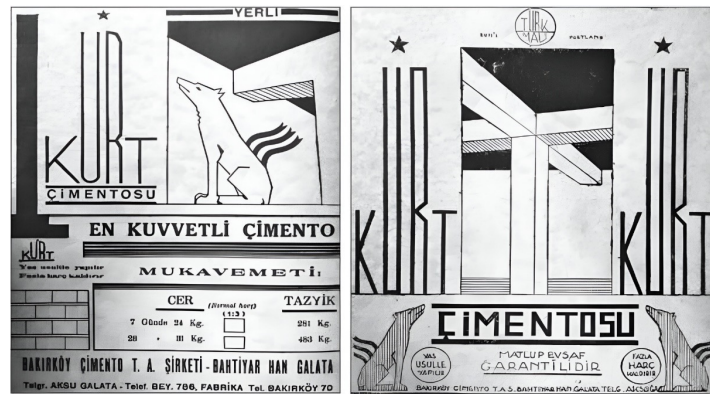
Biri yaş diğeri kuru sistem olarak kurulan bu fabrikaların ilkinde 100-150 ton/gün ve ikincisinde 60-70 ton/ gün kapasiteli iki fırın bulunmaktaydı. Darıca Fabrikası Danimarkalı, Eskişehir Fabrikası ise bir Alman firması tarafından tesis edilmiştir. Su kireci pazarının yanı sıra çimentoda büyük talep oluşmuş ve her iki fabrika işletmeye alınmalarından sonra kapasite artırmıştır.



Resim 43. 9 Eylül 1934 tarihli Yeni Asır Gazetesi

Ülkenin çimento ihtiyacını karşılayan bu fabrikalar büyük miktarlarda ithalat yapıldığı 1920 yılına kadar kötü ve yıpratıcı bir iç piyasa rekabetine girmişlerdir. Bu devrede çimento sektörüne devlet müdahalesi söz konusu olmadığından çimento fiyatları oldukça düşmüştür. Yıpratıcı rekabete dayanamayan bu iki fabrika 1920 yılında “Aslan ve Eskişehir Müttehit Çimento Fabrikaları A.Ş.” adı altında birleşerek ithal çimento karşısında birlikte harekete geçmişlerdir.

1926 yılında Bakırköy Çimentoları T.A.Ş. tarafından İstanbul’da yerli sermaye ile Kurt Çimento kurulmuştur. 15 bin ton/yıl kapasiteli bu fabrikanın ömrü pek de uzun olmamıştır. 1929 yılında Anadolu Çimentoları T.A.Ş.’nin teşekkülüyle büyük hissedarı Belçikalı bir firma olan İstanbul Kartal’daki Yunus Çimento Fabrikası kurulmuştur. 1930 yılında da İstanbul’da Zeytinburnu Çimento Fabrikası faaliyete geçmiştir. 1930 yılına gelindiğinde Türkiye’de kişi başı çimento tüketimi yıllık 9,5 kg’dı. Bunun ise sadece %20’si iç üretim ile karşılanabilmiştir.



Resim 44. 1931 yılında Arkitekt dergisinden yayımlanan Kurt Çimentosu reklamı

1929 Büyük Buhranı, Türkiye’yi de tüm dünya gibi etkilemiş ve bu durum çimento sektörünün oldukça zorlanmasına neden olmuştur. Ayrıca çimento fabrikalarının çoğunlukla İstanbul ve yakın civarda bulunması diğer bölgelerin çimento talebine yeterli karşılık verilememesine neden olmuştur. Bu nedenle 1936 yılında Sivas Çimento Fabrikası kurulmuştur. İkinci Dünya Savaşı’nın sona ermesi ile çimento sektöründe kapasite artışı ve yenilenme kapsamında gelişmeler hızlanmıştır. Çimento sektöründe devlet gücünün ve kontrolünün daha etkin düzeyde olabilmesi için 1953 yılında Bakanlar Kurulu Kararı ile Türkiye Çimento Sanayii Türk Anonim Şirketi (ÇİSAN) kurulmuştur. Özel teşebbüsün gelişmemesi nedeniyle kurulan ÇİSAN ile çimento sektöründeki tüm planlama yetkileri devlete geçmiştir. Bu durum, ilk etapta 15 çimento fabrikasının tesis edilmesi kararını doğurmuştur. Bu karardan sonra Türkiye’nin birçok farklı ilinde çimento fabrikaları kurulmaya başlamıştır.

1950 sonunda çimento kapasitesi 515 bin ton/yıl iken 1962 sonrasında ise 11 yeni fabrikanın devreye girmesiyle 2,4 milyon ton/yıl seviyesine yükselmiştir.

1957 yılında, Türkiye’de üretilen veya ithal edilen çimentoların normlara uygunluğunu incelemek, çimento ve katkı maddeleri üzerinde çalışmalar yapmak ve standart denetimleri gerçekleştirmek amacıyla Türkiye Çimento Müstahsilleri Birliği (TÇMB) kurulmuştur.

1960-1980 dönemi, Türk çimento sektörünün gelişim gösterdiği bir dönem olmuştur. 1980’de Türkiye’de 34 adet çimento fabrikası bulunmaktaydı ve bunlardan 13’ü özel sektördeydi. 1989’da ÇİSAN’a (ÇİTOSAN olarak adı değişti) bağlı beş çimento fabrikasının özelleştirilmesiyle başlayan süreç, 1998’e kadar devam etmiştir. 1989’da ÇİTOSAN’a ait çimento fabrikası sayısı 22 iken, 1995’te 7 olmuştur. 1998’deki son özelleştirmeye bu süreç tamamlanmıştır. Bu değişim, sektörde özel girişimlerin artmasına yol açmıştır.

2008 yılına gelindiğinde Türkiye, Avrupa’nın en büyük çimento üreticisi konumuna gelmiş ve daha sonraki yıllarda küresel çimento ihracatında ikinci sırada yerini almıştır.

2023 yılı itibarıyla Türk çimento sektörü; 56 entegre çimento fabrikası, 21 öğütme tesisi ile yıllık 97 milyon ton klinker ve 148 milyon ton çimento kapasitesiyle dünyanın önde gelen çimento üreticilerindendir.

KAYNAKLAR

- Akman, S., Güner, A., Aksoy, İ., The History and Properties of Khorasan Mortar and Concrete, 11. Uluslararası Türk-İslim Bilim ve Teknoloji Tarihi Kongresi, İ.T.V 1 28 Nisan-2 Mayıs 1986
- Bleazard, R., The History of Calcareous Cements. Lea's Chemistry of Cement and Concrete, 2003. 1-23. <https://doi.org/10.1016/B978-075066256-7/50013-8>
- Cantürk, E., Özgüven, Y., Erken Cumhuriyet Türkiye'si'nde Çimento Sanayi: Arkitekt Dergisi Üzerinden Bir Değerlendirme, Journal of History Studies, Volume 10 Issue 6, p. 13-31, 2018, <https://doi.org/10.9737/hist.2018.633>
- Carvalho, F., Sousa, P., Leal, N., Simão, J., Kavoulaki, E., Lima, M.M., da Silva, T.P., Águas, H., Padeletti, G., Veiga, J.P., Mortars from the Palace of Knossos in Crete, Greece: A Multi-Analytical Approach. Minerals, 12, 30, 2022. <https://doi.org/10.3390/min12010030>
- Courland, R., Concrete Planet: The Strange and Fascinating Story of the World's Most Common Man-Made Material, Amherst, N.Y., Prometheus Books, 2011.
- Engin, Y., Çimento ve Beton Tarihi, Beton Kalıp İskele Teknolojileri, Mayıs - Haziran 2017
- Erdoğan, T. Y., Erdoğan S., Bağlayıcı Malzemelerin ve Betonun Onbin Yıllık Tarihi, ODTÜ Geliştirme Vakfı Yayıncılık, 2007.
- Habashi, F., History of the Rotary Kiln, De Re Metallica, 15, pp. 57-60, 2010.
- Halstead, P. E., The Early History of Portland Cement, Transactions of the Newcomen Society, 34(1), 37-54, 1961. <https://doi.org/10.1179/tns.1961.003>
- Hobbs, L.W, Siddall, R., Cementitious Materials of the Ancient World. In Å. Ringbom, & R. L. Hohlfelder (Eds.), Building Roma Aeterna: Current Research on Roman Mortar and Concrete, The Finnish Society of Sciences and Letters, 128, 35-60, 2011.
- Jahren, P., Sui, T., History of Concrete: A Very Old and Modern Material, 2018. <https://doi.org/10.1142/10172>
- Ryan, J. F., The story of Portland cement, Journal of Chemical Education, 6 (11), 1854, 1929. <https://doi.org/10.1021/ed006p1854>
- Ryan, J. F., The story of Portland cement. Part II, Journal of Chemical Education, 6 (12), 2128, 1929. <https://doi.org/10.1021/ed006p2128>
- Scrivener, K., Snellings, R., The Rise of Portland Cements, Elements, 18. 308-313, 2022. <https://doi.org/10.2138/gselements.18.5.308>
- Sparavigna, A. C., Some Notes on Ancient Concrete, International Journal of Sciences, 1-6, 2014. <https://doi.org/10.18483/ijSci.412>
- Wilkie, S., Dyer, T., Mortar and Concrete: Precursors to Modern Materials, International Journal of Architectural Heritage, 2023. <https://doi.org/10.1080/15583058.2023.2235319>
- Yurtoğlu, N., Kalkınmanın Önemli Bir Unsuru, Kuruluşundan 50. Yılına Türkiye'de Çimento Sanayi (1910-1960), Atatürk Araştırma Merkezi Dergisi, 31, sy. 92 (Temmuz 2015): 113-64.



TÜRKÇİMENTO

Tepe Prime A Blok Kat: 18-19
Eskişehir Devlet Yolu
(Dumlupınar Bulvarı) 9. km
No: 266 06800 Ankara
T : 444 50 57 - F : 0 (312) 265 09 06-05
www.turkcimento.org.tr - info@turkcimento.org.tr

     /turkcimento