

Dünyanın zaman kapsülü: ZİRKON

Feyza ŞAHİN KILAVUZ¹ ve Mustafa ŞEN¹

1. Giriş

Zirkonyum, sembolü Zr, atom numarası 40 ve atom ağırlığı 91.224 g/mol olan bir elementtir. İlk olarak 1789 yılında Martin Heinrich Klaproth tarafından keşfedilmiştir. Zirkonyum, Pers dilinde “altın rengi” anlamına gelen zar (altın) ve gun (renk) (Zargun) kelimelerinden türetilmiştir. Değerli taş olan zirkon ise yaklaşık 2000 yıldır kullanılmakta ve Sri Lanka, Kamboçya, Myanmar ve Vietnam’daki nehir yataklarından yüzlerce yıldır üretilmektedir (www.ga.gov.au).

Batı Avustralya’nın Jack Hills bölgesinde bulunan zirkon kristali dünyanın oluşumundan çok kısa süre sonrasına ait, şu ana kadar bulunan ve bilinen ‘en yaşlı’ parça olduğu sanılmaktadır. Yapılan araştırmalar sonucu, saç telinden iki kat kalın olan kristal zirkonu’nun 4,4 milyar yıl öncesine ait olduğu anlaşılmıştır. Bu tahmin edilenden 300 milyon yıl önce demektir. Böylelikle zirkon kristalleri dünyanın hayat kıvılcıklarının olduğu koşullara yeni bir pencere açmıştır. Yüksek dayanıklılıkları ve uzun ömürleri sayesinde adeta zaman kapsülü sayılabilecek zirkon mineralleri, yaşamın başlangıcının olduğu çevre ile ilgili araştırmalarda çok önemli veriler elde edilmesini sağlamıştır. Bu kristal sayesinde, dünyanın oluşuktan sonra hızla soğuduğu, okyanuslarında sanılandan daha önce ortaya çıktığı teorisi güçlenmiştir (www.nationalgeographic.com; www.bilimenc.tubitak.gov.tr).

Tamımı ve Özellikleri

Zirkon, zirkonyum bileşiği bir mineraldir. Başka bir deyişle elementer zirkon metaline “zirkonyum” adı verilir. Zirkonun kimyasal adı zirkonyum silikattır (ZrSiO₄). Kristal sistemi tetragonalıdır. Renksiz, kahverengi tonları, gri, yeşil, sarı ve kırmızı renkte olabilir. Şeffaf, elmas parlıtlı ve camsıdır. Kum, öğütülmüş veya mikronize edilmiş toz olarak kullanılabilir.

Zirkonya ise; zirkon silikattan (ZrSiO₄) suni elde edilen zirkonyum dioksit (ZrO₂) bileşiğine verilen addır. Piyasada kullanımı yaygın zirkonyum bileşiklerinin başında gelir. Zirkonyumun beyaz kristal oksididir. Doğal hali monoklinal bir kristal yapıya sahiptir. Bileşiminde silikatlar, alüminatlar, metal oksitler, su ve alkali bileşikler bulunur.

Doğada bulunan ve ekonomik değeri olan mineralleri zirkon (ZrSiO₄) ve baddeleyit (ZrO₂)’tir. Baddeleyitin eş anlamlıları zirkonyum oksit, zirkonyum dioksit ve zirkonyadır. Dolayısı ile kelime yapısı itibarı ile benzeşen, ancak farklı kimyasal kompozisyonlar olan zirkon ve zirkonya birbirlerine karıştırılmamalıdır. Günlük konuşma lisanında zirkon dendiğinde bütün bu hammaddelerin herhangi biri kastedilmiş olabilir. 1789 yılında Alman kimyager Martin Heinrich Klaproth tarafından keşfedildi. Klaproth bu okside zirkonya adını verdi ve mineralin %70’ini oluşturduğunu buldu. Ancak, onu metalik formuna indirgeme girişimlerinde başarısız oldu. İsveçli kimyager Jöns Jakob Berzelius ise 1824 yılında potasyum, zirkonyum ve florür karışımını ısıtarak izole etti. 1892 yılında Joseph Baddeley, Sri Lanka’da önemli zirkonyum minerali olan ve soyadından esinlenerek “baddeleyit” adı verilen minerali keşfetti. 1914 yılında saf zirkonyum olarak elde edildi. 1925 yılında Hollandalı kimyagerler Anton Eduard van Arkel ve Jan Hendrik de Boer tarafından uygulanan termal işlemlerle beyaz, yumuşak, dövülebilir zirkonyum tetraiyodid metali elde edildi.

Zirkonyum periyodik tablonun 4-B grubunda yer alan bir geçiş metalidir (Şekil 1). Erime noktası 1855 °C iken, 4409 °C’de kaynar. Grimsi beyaz, sünek bir metaldir. Zr aynı grupta bulunan Hf ve titanyum ile benzer kimyasal özelliklere sahiptir. Bu yüzden minerallerde Zr ve Hf belli oranlarda birlikte bulunurlar. Isıya ve korozyona son derece dayanıklıdır. Çelikten hafif, bakırdan serttir. % 99 saf hali gevrektiler (makaleler.com). Şekil 2’de zirkon minerali görseli verilmiştir.

		STATE OF MATTER																	
		GAS				LIQUID				ARTIFICIAL				UNKNOWN					
2	Li	Be																	
3	Na	Mg																	
4	K	Ca	Sc	Ti	V	Cr	Mn	Fe	Cobalt	Nickel	Copper	Zinc	Gallium	Germanium	As	Se	Br	Kr	
5	Rb	Sr	Y	Zr	Nb	Mo	Tc	Ru	Rh	Pd	Ag	Cd	In	Sn	Sb	Te	I	Xe	
6	Cs	Ba	La	Ce	Pr	Nd	Pm	Sm	Eu	Gd	Tb	Dy	Ho	Er	Tm	Yb	Lu	Hf	
7	Fr	Ra	Ac	Th	Pa	U	Np	Pu	Americanium	Berkelium	Californium	Einsteinium	Fermium	Mendelevium	Nobelium	Lutetium	Hassium	Meitnerium	

Şekil 1- Zirkonyum sembolü.

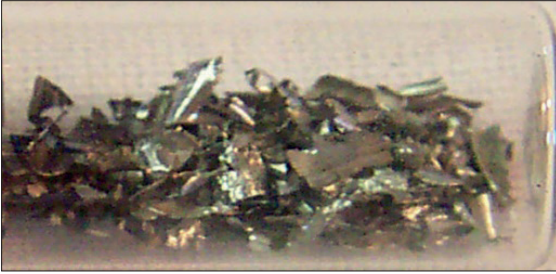
Zirkonyum oda sıcaklığında katı halde bulunan parlak, beyazımsı gri renkte, genleşebilen ve

¹Maden Tetkik ve Arama Genel Müdürlüğü, Maden Analizleri ve Teknolojisi Dairesi Başkanlığı, Çankaya, Ankara.

dövülebilir bir metal olmasıyla birlikte saflığının az olduğu halinde ise sert ve kırılabilir olabilmektedir (Şekil 3). Toz formunda olduğunda oldukça yanıcı bir element olan zirkonyum, katı formundaki halinde ise daha az yanıcı olmaktadır. Zirkonyum asitlere, tuzlu sulara, alkalilere karşı oldukça dayanıklıdır ve bu yüzden genellikle dış kaplama işlemlerinde kullanılmaktadır.



Şekil 2- Zirkon minerali (www.mta.gov.tr).



Şekil 3- Zirkonyum örneği (https://en.wikipedia.org/wiki/Zircon).

Kristal yapısı hegzagonaldır. Havadaki azot ve oksijenle etkileşmemesi için döküm işlemlerinde özel fırınlar kullanılır. Düşük sıcaklıklarda süper iletken özelliği gösterir. Bu sebeple zirkonyum-niobyum alaşımları mıknatıs yapımında kullanılmaktadır. Zirkonyum, normal sıcaklıklarda reaktif değildir, yüksek sıcaklıklarda reaktif hale gelir. Havada ve sıvıda oksitlenerek korozyona direnç kazanır.

Doğada saf zirkonyum nadiren bulunur. Hemen hemen bütün zirkonyum cevherleri hafniyum içerir. Zirkonyum bileşikleri dağınık halde oldukça fazladır. Bakır, nikel, kurşun, kalay ve çinko gibi metallerin toplamından daha fazla zirkonyum cevheri bulunduğu tahmin edilmektedir.

2. Mineralleri

Zirkonyumun 30'un üzerinde minerali bilinmesine rağmen, metal üretiminde kullanılan en önemli mineralleri zirkon ($ZrSiO_4$) ve baddeleyit (ZrO_2)'tir. Çizelge 1'de zirkonyum mineralleri verilmiştir.

3. Zirkonun Bulunuşu

Zirkon yer kabuğunda yaygın olarak bulunmaktadır. Çoğu magmatik ve metamorfik kayalarda yer alır ancak çok küçük tane boyutundan dolayı fark edilmeyebilir. Sertliği ve dayanıklılığı nedeniyle kolayca aşınmaz. Bu nedenle tortul çökeltilerde de bulunur ve çoğu kumun ortak bir bileşenidir. Bununla birlikte, zirkon mafik kayalarda nadiren ve ultramafik magmatik kayalarda da çok nadiren bulunur (www.ga.gov.au).

Zr; ultramafitlerde ortalama 45 ppm, mafitlerde 140 ppm, granitoidlerde 175 ppm, kireçtaşlarında 19 ppm, kumtaşlarında 220 ppm, şeyllerde 160 ppm oranında bulunur. 280 ppm bolluğu ile zirkonyum, yer kabuğundaki elementler arasında 11. sırada yer alır ve Cu, Pb, Ni, Zn gibi bilinen bazı diğer metallere daha fazla zenginliktedir. Zr litofil bir elementtir ve yer kabuğunu oluşturan kayalar içinde (ultramafitler ve kireçtaşları hariç) hemen hemen homojen dağılım gösterir. Bu yüzden büyük miktarlarda zirkonyum yataklarına rastlanmaz, plaser adı verilen ve ağır mineral içeren kumlardan elde edilir (Ramazanoğlu, 2002; DPT,2001).

Zirkon mineralleri, hafniyum elementinin primer kaynağıdır ve yaklaşık 1/50 oranında hafniyum içerir. Zirkon sahil kumlarından metal elde edilen plaser işletmelerde yan ürün olarak üretilir. Granit, siyenit, nefelin siyenit gibi magmatik kayalarda yaygın olarak bulunan aksesuar minerallerden biridir. Zirkon, toryum içeriği sebebiyle radyoaktiftir.

4. Özellikleri ve Uygulama Alanları

Zirkonu (zirkonyum silikat), çeşitli zorlu uygulamalarda kullanım için uygun hale getiren benzersiz fiziksel özellikler Çizelge 2'de özetlenmiştir (Zircon Industry Association, 2021).

Saf zirkonya, monoklinik, tetragonal ve kübik faz olmak üzere üç farklı kristal yapıya sahiptir. ZrO_2 yapısında hangi polimorfun bulunacağı, sıcaklığa ve basınca bağlıdır. Atmosferik basınçta, monoklinik faz $1170^\circ C$ 'ye kadar kararlıdır. Bu sıcaklıkta monoklinik faz %5'lik bir hacimsel küçülme ile tetragonal faza dönüşür ve oluşan tetragonal faz, $2300^\circ C$ 'ye kadar kararlıdır. $2300^\circ C$ 'den ergime sıcaklığı olan $2700^\circ C$ 'ye kadar ise ZrO_2 , kübik faz şeklinde bulunur. Bu üç faza ilaveten, yüksek sıcaklık ve basınç altında ortorombik fazı da oluşmaktadır. Zirkonya bu polimorfik dönüşümler sırasında hacimsel değişikliğe uğramakta ve özellikle termal şok özellikleri olumsuz etkilenmektedir. Böylece zirkonyanın yüksek sıcaklık uygulamalarında kullanımı kısıtlanmaktadır. Bu nedenle stabilize edici oksitlerin yardımıyla zirkonyanın oda sıcaklığında tetragonal+kübik faz ya da kübik fazında kararlı halde bulunması sağlanır (Köröğlu, 2013).

Çizelge 1- Zirkonyum mineralleri (DPT, 2001).

MİNERALLER	FORMÜL	ZrO ₂ , %	HfO ₂ , %	Hf/Zr
Baddeleyit	ZrO ₂	96,5-99	1-2,9	0,01-0,03
Zirkelit, (Zirkit)	(Ca, Fe, Nadir topraklar, Th, U) ₂ (Zr, Ti) ₂ O ₅	51,8-52	0,9-2,7	0,02-0,04
Polymignit	(Ce,La,Y,Th,Mn,Ca)(Ti,Zr,Nb,Ta) ₂ O ₆	28,6-29,2	0,6-0,9	0,02-0,04
Zirkon	ZrSiO ₄	60-66,8	0,3-0,6	0,01-0,10
Varhyacinthe		64,3	1,8	0,03
Zirkonlar:				
Malacon		53,2-65,2	0,8-7	0,02-0,09
Cyrtolit		40-52	9,17	0,26-0,46
Naegit		48,4-49,8	3,5-7	0,08-0,17
Alvit		34-42	3-16	0,13-0,54
Hagatalit		39,5-42,2	2,5	0,06
Oyomalit		38,4-41,4	2,5	0,06
Zirfesit	(ZrO ₂ , Fe ₂ O ₃) _n .SiO ₂ , nH ₂ O	30,5		
Dalyit	K ₂ ZrSi ₆ O ₁₅	21,8		
Wadeit	K ₆ Ca ₃ Zr ₃ (SiO ₃) ₁₂	21,4		
Catapleit	Na ₂ Zr(SiO ₂) ₃ , H ₂ O	30,3-31,6	0,2-0,6	0,01-0,02
Elpidit	Na ₂ ZrH ₆ (SiO ₂) ₆	20-20,3	0,2-0,4	0,01-0,02
Thortveitit	(Sc, Y) ₂ Si ₂ O ₇	0,8-2,6	0,5-3,2	0,27-1,89
Eudialyt	(Na,Ca,Fe) ₆ Zr[(OH,Cl)(SiO ₂) ₆]	12,2-14,3	0,1-0,7	0,01-0,05
Eucolit	Na ₁₃ (Ca, Fe) ₆ Cl(Si, Zr) ₂₀ O ₅₂	12,2-14,5	0,2-0,7	0,02-0,06
Guarinit	Ca ₂ NaZr[F,(SiO ₄) ₂]	19,7-21,4		
Wöhlerit	Guarinit+Nb	15,6-17,6	0,5-0,7	0,03-0,05
Lavenit	(Na,Ca,Mn) ₃ Zr[F,(SiO ₄) ₂]	21-28		
Rosenbuschit	(Na,Ca) ₃ (Fe,Ti,Zr)[F,(SiO ₄) ₂]	19,9	0,4	0,02
Mosandrit	(Ca,Na,Y) ₂₋₃ (Ti,Zr,Ce) [(H ₂ O,F),(SiO ₄) ₂]	7,4		
Astrophyllit	(K ₂ Na ₂ Ca)(Fe ²⁺ ,Mn) ₄ (Ti,Zr) [OH,(Si ₂ O ₇) ₂]	0,8-5		
Tschinglusuit	2(Na,K) ₂ O 5(Mn,Ca)O 3(Ti,Zr)O ₂ 14SiO ₂ 9H ₂ O	2,8-3,2		
Nogizawalit	Zirkon+Xenotime	4,6		

Çizelge 2- Zirkonun üstün özellikleri ve uygulama alanları.

Özellik	Uygulama
Yüksek kırılma indisi	Seramikler (zirkon opaklaştırıcı görevi görür ve beyazlığı artırır)
Yüksek sertlik	Seramikler (zirkon çizilmeye ve mekanik hasara karşı direnç sağlar)
Yüksek erime noktası	Refrakter endüstrisi (ve buna bağlı olarak metal döküm endüstrisi)
Yüksek sıcaklıklarda yüksek uzamsal ve termal kararlılık	Metal döküm ve refrakter endüstrileri
Düşük doğrusal genişleme katsayısı - termal şoka karşı iyi direnç	
Orta ila yüksek termal iletkenlik	
Erimiş metal ile düşük ıslanabilirlik	
Az maliyetle ve az malzeme ile yapıştırılabilen temiz ve yuvarlak taneler	
Tüm organik ve inorganik kalıp kumu bağlayıcıları ile bağlanma kabiliyeti	
Kimyasal kararlılık	Metal döküm dahil birçok uygulama
Erimiş silika veya silikatlarda düşük çözünürlük	Cam refrakterler
İyi dielektrik özellikler	Teknik ve gelişmiş seramikler

Yaygın olarak stabilize edici oksit olarak MgO, CaO ve Y₂O₃ kullanılmaktadır. Bu oksitlerden hangisinin ve hangi miktarlarda seçileceği çalışılmak istenen ve üründen beklenen özelliklere göre değişiklik gösterebilmektedir.

5. Kullanım Alanları ve Tüketimi

Zirkonya, erime sıcaklığının yüksek olması, asidik kimyasal maddelere karşı direncinin yüksek olması, korozyon, erozyon ve aşınmaya karşı dayanıklı olması, düşük termal genişleme katsayısına sahip olması (termal şoka dayanıklı olması), kırılma indisinin yüksek olması ve yüksek sıcaklıkta iyonik iletkenliğe sahip olması gibi özellikleri ile ileri teknoloji malzemeleri olarak kabul edilmiş ve çeşitli endüstri dallarında kullanılmaya başlanmıştır. Teknolojik gelişmelerle doğru orantılı olarak son yıllarda zirkonyum ve bileşiklerinin kullanımı da giderek artmaktadır. Zirkonyum tüketiminin yaklaşık % 95'i zirkon, zirkonyum oksit ve zirkonyum bileşikleri olarak kullanılmaktadır. % 5'lik dilim ise zirkonyum metali olarak kullanılır.

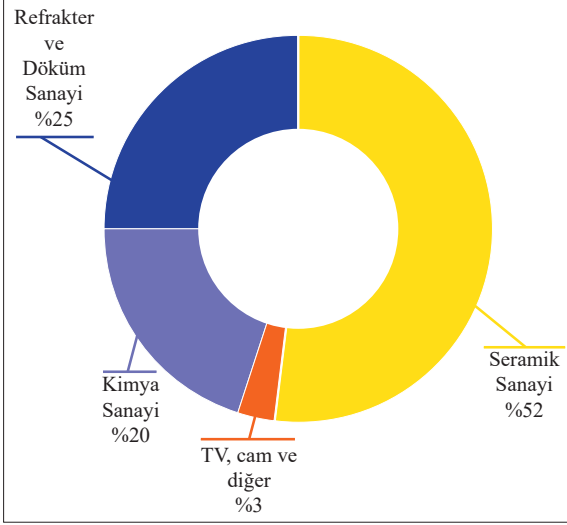
Seramikler, dökümhane kumu, opaklaştırıcılar ve refrakterler, zirkon için önde gelen son kullanım alanlarıdır. Zirkonun diğer son kullanım alanları arasında aşındırıcılar, kimyasallar (ağırlıklı olarak zirkonyum bazik sülfat ve ara kimyasallar olarak

zirkonyum oksiklorür oktohidrat), metal alaşımları ve kaynak çubuğu kaplamaları bulunmaktadır. Zirkonyum metalinin ise önde gelen tüketicileri kimya ve nükleer enerji endüstrileridir (USGS, 2020).

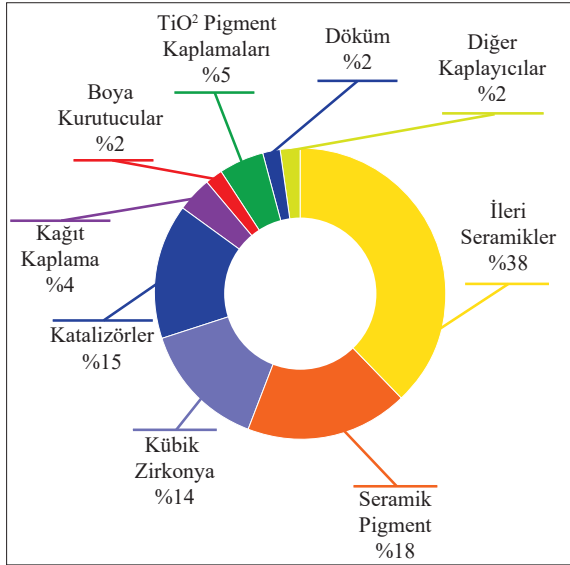
Zirkonyumun genel kullanım alanlarını şu şekilde sıralayabiliriz: Nükleer teknolojide, makina, gemi, uçak ve askeri savaş malzemesi yapımında, deri, kağıt, boya, tekstil ve gübre endüstrilerinde, elektrik ve elektronikte, döküm endüstrisinde (döküm kumu olarak), kuyumculuk, aşındırıcı ve seramik endüstrisinde, çelik endüstrisinde, refrakter alaşımlarında, foto alev ampullerinde, kimya tesislerinin korozyona dayanıklı olması istenen tesisatında, otomotiv, cam ve çimento endüstrisinde, bitkisel yağların hidrojenasyonu için nikel katalizörünün hazırlanmasında, portatif böbrek diyaliz sistemlerinde, cerrahi alanda, nükleer yakıt atık sistemlerinde kullanılmaktadır. Zirkon ayrıca cep telefonları ve telefon kuleleri, sinyal gücünü ve netliğini artırmak için zirkonyum içeren sinyal amplifikatörlerinde, yüksek teknoloji kumaşlarda, dış giyimde, çadır ve brandaların su geçirmezliği için de kullanılmaktadır.

Şekil 4'te 2019 yılında zirkonun kullanım alanlarına göre tüketim oranları verilmiştir (Zircomet Limited, 2021).

Üretilen başlıca zirkonyum kimyasalları zirkonyum oksitlerdir, zirkonyum bazik sülfat, zirkonyum bazik karbonattır. Bunların yanında amonyum zirkon karbonat, potasyum zirkonyum heksaflorür, zirkonyum fosfat, zirkonyum asetat, zirkonyum propiyonat gibi pek çok kimyasal da kullanılmaktadır. Şekil 5'te Zircomet verilerine göre zirkonyum kimyasallarının ve erimiş zirkonyumun tüketim alanları ve oranları verilmiştir.



Şekil 4- Dünyada zirkon tüketim alanları ve payları.



Şekil 5- Dünyada zirkon kimyasalları ve erimiş zirkonyumun tüketim alanları ve payları.

Zirkonyum metali %99.99 saflıktadır ve çubuk, madeni levha, sac, ince sac ve tel yapımında kullanılmaktadır. Zirkonyum metalinin şekillendirilmesi zordur ve genellikle 900 °F sıcaklıklarda çalışılmaktadır. Bu metal nitrik, sülfirik ve hidroklorik asitlerden etkilenmemekte ama

hidroflorik asit ile erimektedir. Küçük miktarlardaki zirkonyum çelikte kullanıldığında çeliğe, güçlü deoksidant, denitrifikatör ve şekil verilebilirlik özelliği vermektedir. Az miktarda zirkonyum içeren çelikler, iyi derecede şok ve yorgunluk direncine sahiptir (www.madencilikrehberi.files.wordpress.com).

Zirkonyum metali korozyona dayanıklılığı ve nötron absorplama özelliğinin çok olması nedeniyle nükleer reaktörlerin yapı malzemesi olarak, yanıcı özelliğinden dolayı askeriyede, düşük sıcaklıklarda süperiletken özelliği nedeniyle zirkonyum-niobyum alaşımları ve süperiletken miktatların yapımında ve daha birçok alanda kullanılmaktadır. Diş hekimliğinde ise ilk olarak 1990'lı yılların başında kullanılmaya başlanmıştır. Fakat zirkonyum mineralleri yapılarını renklendiren metal elementleri ve bünyelerindeki doğal radyoaktif çekirdekler nedeniyle diş hekimliğinde direkt olarak kullanılamazlar. Materyalin seramik biyomateryali olarak kullanılabilmesi için çeşitli işlemlerden geçirilerek saflaştırılması gerekmektedir (DPT, 2001; <https://en.wikipedia.org/wiki/Zircon>).

Kuyumculukta kullanılan formuna "kübik zirkonya" da denilmektedir. Zirkonyanın en popüler formu, mücevherlerde ve takılarda da kullanılan ve "sahte elmas" olarak tanımlanan elmas görünümü, berrak, şeffaf bir taştır. Mücevher sektöründe "zirkon" olarak bilinen ürünler de aslında zirkonyadır (www.enerjiportali.com).

6. Üretim Yöntemi ve Teknolojisi

Değerli taş kategorisindeki zirkon kristalleri, 2000 yılı aşkın süredir dere çakıllarından çıkarılmıştır. Günümüzde çoğu zirkon, sahil veya alüvyal birikintilerdeki madencilik faaliyetleri sonucunda üretilmektedir. Zirkon, ilmenit ve rutilin titanyum içeriği nedeniyle çıkarıldığı madencilik ve zenginleştirme işlemlerinde genellikle bir yan üründür (www.ga.gov.au).

Zirkon, birikinti sıg ise veya daha sert malzemeler içeriyorsa kuru madencilik yöntemleriyle çıkarılır. Ekskavatörler ve sıyırıcılar, cevheri kazmak için kullanılır ve daha sonra kamyonlar veya buldozerlerle ilk işleme tesisine taşınır. Cevher daha sonra bir konveyör veya bir boru hattı aracılığıyla bir zenginleştirme tesisine taşınır.

Cevher su tablasının altında veya kumul alanlarda ise üretimde yaş madencilik yöntemleri kullanılır. Bu süreç, yapay bir havuzda yapılan bir tarama işlemi içerir. Kumı sıyrılır ve daha sonra özgül ağırlık farkına dayalı zenginleştirme işlemlerine (spiral sınıflandırıcı

gibi) gönderilir. Tarama, atık kumları geride bırakarak sürekli olarak yapılır. Maden kumlarını çıkardıktan sonra, madencilik şirketleri araziye ve bitki örtüsünü rehabilite eder.

Kimyasal ve fiziksel olarak dayanıklı olan kuvars, manyetit, ilmenit ve zirkon gibi mineraller bunları içeren kumlardan öncelikle fiziksel olarak zenginleştirilirler. Baddeleyit (ZrO_2) %90-93 arasında ZrO_2 içeren bir zirkonyum mineralidir. Tabiatta zirkondan ($ZrSiO_4$) daha az oranda bulunur. Zirkon üretiminde önce baddeleyit mineralleri fiziksel işlemlerle zenginleştirilerek konsantreler halinde toplanır (%96 ZrO_2), daha sonra manyetik ayırma

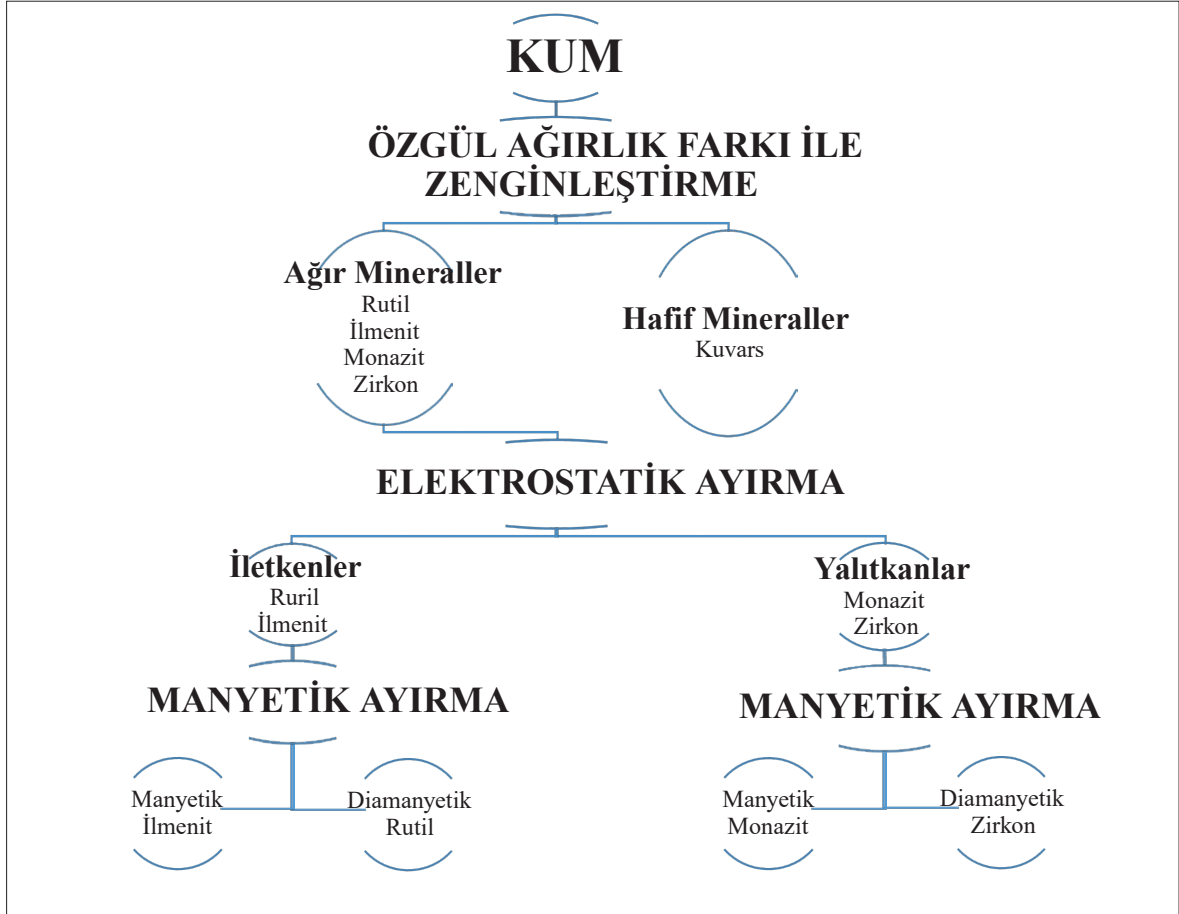
işlemiyle demir ve diğer safsızlıklar ayrılarak %99 ZrO_2 saflığına getirilir. Ayrıca kimyasal temizleme işlemleri sonucunda daha saf ZrO_2 elde edilir. Zirkon Şekil 6'daki akım şeması ile gösterilen yöntemlerle kumdan ayrılarak piyasaya sunulur.

Satılabilir kalitedeki zirkon ve baddeleyit konsantrisinin özellikleri Çizelge 3'te verilmiştir (Köroğlu, 2013; DERA, 2013).

Mücevher kalitede olan zirkon kristallerinden bazıları doğrudan pegmatit içindeki boşluklardan çıkarılır. Zirkonlar daha sonra kesilmeye veya işlenmeye gönderilmeden önce tartılır ve kalite sınıflandırmasına tabi tutulur.

Çizelge 3- Ürün standartları.

Kimyasal Analiz (%)	Zirkon	Baddeleyit
ZrO_2	66,90	>99,0
SiO_2	32,60	<0,5
TiO_2	0,12	<0,3
Fe_2O_3	0,04	<0,05
Al_2O_3	0,43	-
P_2O_5	0,007	<0,03



Şekil 6- Kum zenginleştirme akım şeması.

7. Rezerv Bilgileri

Şekil 7’de verilen haritada dünyadaki zirkon yatakları harita üzerinde yeşil, sarı ve kırmızı renklerde sembolik ve ölçeksiz olarak gösterilmiştir (<https://en.wikipedia.org/wiki/Zircon>).

Dünya zirkonyum kaynakları zirkon ve baddeleyit kaynaklarıyla ilişkilidir, ancak daha fazla veya az ölçüde zirkonyum içeren yaklaşık 30 mineral türü daha vardır. Zirkon sahil kumlarından yan ürün olarak üretilir. Titanyum mineralleri olan ilmenit ve rutil içeren kumların birikintileri, daha ağır minerallerin dalga ve rüzgar hareketi ile yoğunlaştığı eski sahil şeridi boyunca oluşurlar. Maden kumu yataklarının çoğu, bugünkü sahil şeridinden birkaç yüz metre ile on kilometre arasında veya bazen de yüzlerce kilometre uzaklıkta olan konsolide olmayan fosil kıyılarında bulunur. Avustralya ve Güney Afrika’da, ayrıca Güney ve Güneydoğu Asya, Çin, Doğu ve Batı Afrika, Ukrayna ve Kuzey ve Güney Amerika’da büyük yataklar bulunmaktadır. Bu kum yataklarının ağır mineral içeriği % 0,5 ile >% 20 arasında değişebilir. Benzer şekilde, zirkon içeriği de yataktan yatağa % 1’den az olabilir ve % 50’ye kadar değişebilir.

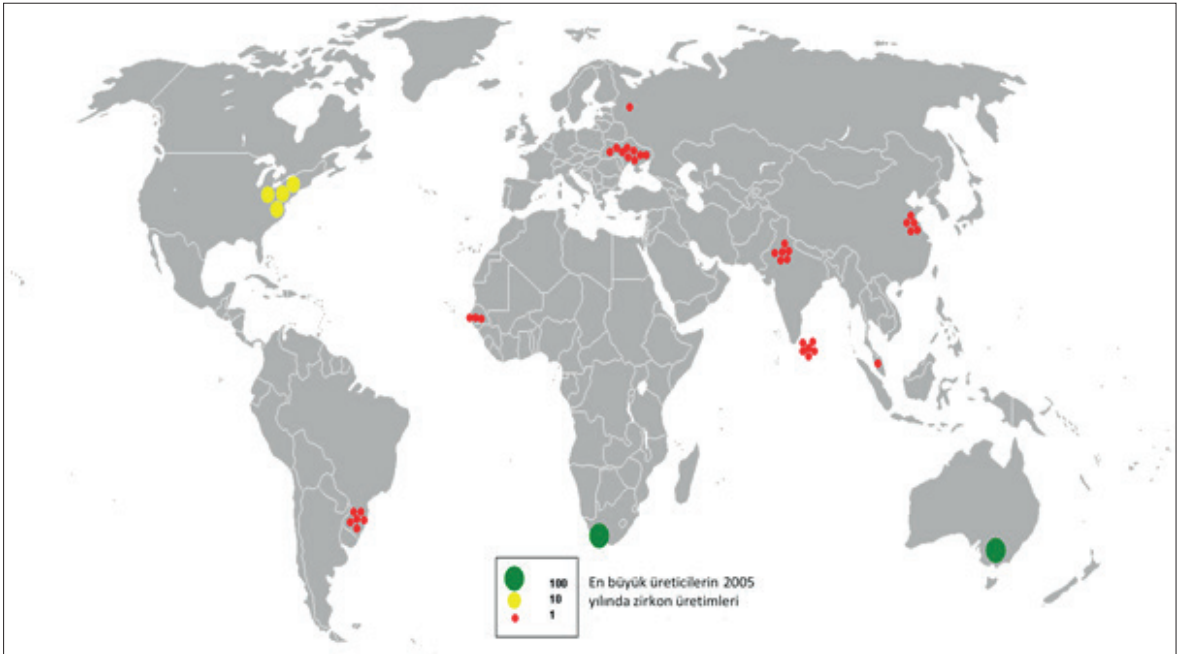
Zirkonyumun en büyük ekonomik kaynağı, ABD Jeolojik Araştırma Merkezi (USGS) tarafından bildirildiği gibi Avustralya ve Güney Afrika’da bulunan yataklardır. USGS’in 2021 yılı verilerine göre, zirkon kaynakları dünyada 60 milyon tonu

aşmaktadır. Çizelge 4’te gösterildiği gibi Avustralya 43 milyon tonla zirkonyum rezervlerinin en büyük payına sahiptir.

Dünyanın zirkon ($ZrSiO_4$) kumu üretim alanlarının %80’i Avustralya, Güney Afrika ve Amerika Birleşik Devletleri’nde yoğunlaşmıştır. Oldukça az miktardaki zirkon da baddeleyitten üretilmektedir. Başlıca baddeleyit üreten bölgeler ise Güney Afrika, Brezilya ve Rusya (Kovdor)’da yoğunlaşmıştır ve baddeleyit esas olarak aşındırıcı malzeme ve seramik boyada kullanılmaktadır (www.touchdown.com.tw/tr). Zirkonyum ve hafniyum metali ise Çin, Fransa, Hindistan, Rusya ve ABD’de üretilmektedir (USGS, 2017).

Başlıca üretim sahaları, Güney Avustralya, Batı Avustralya ve Yeni Güney Galler’dir (Eucla Havzası, Narngulu, Murray Havzası, Perth Havzası ve Tiwi Adaları). Güney Afrika’daki Richards Bay ve ABD’deki Florida zirkonyum üretmektedir. Hainan eyaleti Çin’de zirkonyum üretim bölgesi olarak öne çıkmaktadır (www.metalpedia.asianmetal.com). Zirkon kaynaklarının yaklaşık %10’u ise sahile, tarım arazilerine yakınlığı, milli parklar ya da kentsel gelişim bölgeleri içinde oluşu nedeniyle buralardan zirkonyum madeni çıkarılamamaktadır (www.ga.gov.au).

Ülkemiz sahil kumlarında zirkonyum ve hafniyum minerali olan zirkona rastlanmaktadır.



Şekil 7- Dünyadaki Zirkon oluşumlarının dağılımı.

Çizelge 4- Dünya zirkon rezerv bilgileri (USGS, 2020).

ÜLKELER	Dünya Zirkon Rezerv Verileri (ZrO ₂ içeriği) (*1000 metrik ton)	Dünya Zirkon Rezerv Verileri (ZrO ₂ içeriği) (*1000 metrik ton)
	2019	2020
ABD	500	500
Avustralya	42000	43000
Çin	500	500
Endonezya	*	*
Kenya	120	55
Mozambik	1800	1800
Senegal	*	*
Güney Afrika	6500	6700
Diğer Ülkeler	11000	11000
Dünya Toplam Rezervi	62000	64000

*Veri yok

Özellikle İstanbul-Şile bölgesi ile Adapazarı-Karasu bölgelerinde zirkonca zengin sahil plaserlerimizin bulunduğu saptanmıştır.

8. Üretimi ve Ticareti

Çizelge 5'te USGS verilerine göre 2019 ve 2020 yıllarında dünya zirkonyum cevher ve zirkon konsantresi üretimi verilmiştir.

USGS verilerine göre 2016-2019 yılları arasında zirkonyum cevherleri ve konsantreleri ithalatında Güney Afrika %55 ile en büyük paya sahiptir. Onu Senegal %26, Avustralya %15, Rusya %1 ve diğerleri %3'le takip etmektedir. İşlenmemiş zirkonyumda (toz dahil), Çin %81, Almanya %12, Japonya %3, Fransa %2 ve diğerleri %2 lik paya sahiptir. İşlenmiş zirkonyumda ise sıralama Fransa %63, Almanya %18, Belçika %5, Kanada %4 ve diğeri %10 şeklindedir.

Ekonomik Karmaşıklık Gözlemevi (OEC, The Observatory of Economic Complexity)'nin verilerine göre ithalat ve ihracatta; 2018 yılı için 1,46 milyar dolarlık, 2019 yılında ise 1,27 milyar dolarlık bir küresel ticaret gerçekleşmiştir. Ana ithalatçı Çin olup 2019 yılında %39'luk bir paya sahiptir, Çin'i %10,2 ile İspanya, %6,21 ile Hindistan takip etmektedir (Çizelge 6). Ana ihracatçı ise Güney Afrika'dır. Güney Afrika 2019 yılında %36,6, Avustralya %9,2 ve Endonezya %8,23'lük bir paya sahiptir (Çizelge 7).

Zirkon konsantreleri ithalatı için ortalama birim değer son 3 yıllık artışın ardından 2020 yılında düşüş göstermiştir. Zirkonyum cevherleri ve zirkon konsantreleri ihracatı ise, 2019 yılına göre 2020

yılında %65'lik bir azalma göstermiştir. Küresel zirkon üretiminin, COVID-19 pandemisinin etkisiyle 2020 yılında azaldığı bilinmektedir. Pandeminin etkisiyle tüketim azalmış ve pek çok maden şirketi işlerini askıya almıştır (USGS, 2020). Uluslararası İş Geliştirme için Ticaret İstatistikleri'nin (Trade Statistics For International Business <http://www.trademap.org> Development) 2019 verilerine göre Nb, V, Ta ve zirkonyum cevher ve konsantrelerinin 2019 yılı ithalat ve ihracat değerleri sırasıyla Şekil 8 ve Şekil 9'da verilmiştir. Çin ithalatta 1,214,875 \$ ile %55'lik paya sahiptir. Çin'i, 164,154 \$ ile İspanya ve 110,339 \$ ile ABD takip etmektedir. İhracatta ise 451,135 \$ ile Güney Afrika, 104,607 \$ ile Senegal, 102,777 \$ ile Endonezya ilk üç sırada yer almaktadır.

Çizelge 5- Dünya zirkonyum cevher ve zirkon konsantresi üretimi.

Ülkeler	Brüt Ağırlık (x1000 ton)	
	2019	2020
ABD	100	<100
Avustralya	470	480
Çin	140	140
Endonezya	34	60
Kenya	29	25
Mozambik	100	125
Senegal	65	65
Güney Afrika	370	320
Diğer Ülkeler	112	110
Toplam	1420	1400

Çizelge 6- Zirkon cevheri ve konsantreleri ithal eden ülkeler.

Ülke	2018 yılı (%)	2019 yılı (%)
Çin	33,4	39
Hindistan	7,21	6,21
Japonya	4,48	5,33
Malezya	2,4	1,45
Singapur	1,76	1,02
İspanya	10,4	10,2
İtalya	5,27	5,17
Hollanda	3,85	5,00
Almanya	4,55	3,39
Fransa	2,64	2,55
Belçika	1,73	1,27
Rusya	1,05	1,25
ABD	3,49	3,72
Meksika	1,22	1,39
Brezilya	0,57	0,82
Diğer	15,98	12,23
Toplam	100	100

Mineral kum madencisi Iluka Resources Ltd.'in, 2020 yılı için zirkon üretimi öngörüsü 280.000 ton iken koronavirüs krizi nedeniyle 170.000 ton seviyesine çekilmiştir. Şirket, bu kararında salgının etkisinin ve süresinin belirsizliğini gerekçe göstermiştir. İlk çeyrekte, şirketin zirkon üretimi yıllık % 42,5 düşüşle 50.100 tona gerilemiştir (www.spglobal.com).

Türkiye zirkon üretimi 2019 yılına kadar ihtiyaca bağlı olarak artmıştır. Maden ve Petrol İşleri

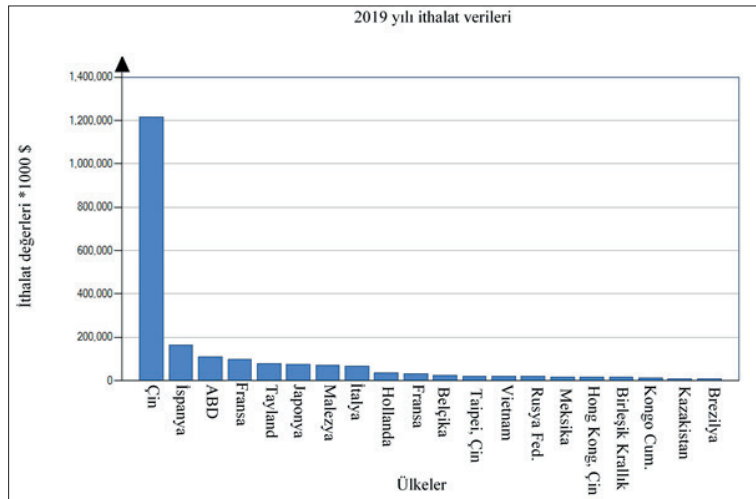
Çizelge 7- Zirkon cevheri ve konsantreleri ihraç eden ülkeler.

Ülke	2018 yılı (%)	2019 yılı (%)
Güney Afrika	34,2	36,6
Senegal	6,1	8,28
Mozambik	5,3	6,78
Kenya	3,65	3,72
Madagaskar	1,27	1,98
Endonezya	5,23	8,23
Malezya	5,7	1,87
Çin	1,49	1,45
Rusya	2,03	2,62
Ukrayna	1,66	2,05
Belçika	2,48	1,95
Hollanda	2,06	1,85
İspanya	1,52	1,18
Avustralya	12,8	9,2
ABD	6,67	4,53
Diğer	7,84	7,71
Toplam	100	100

Genel Müdürlüğü (http://www.mapeg.gov.tr/maden_istatistik.aspx) verilerine göre üretim yıllar içerisinde 1950 tona kadar çıkmıştır (Çizelge 8). Türkiye'deki yıllık zirkonyum tüketimi 2-3 bin ton civarındadır.

9. Alternatif Ürünler

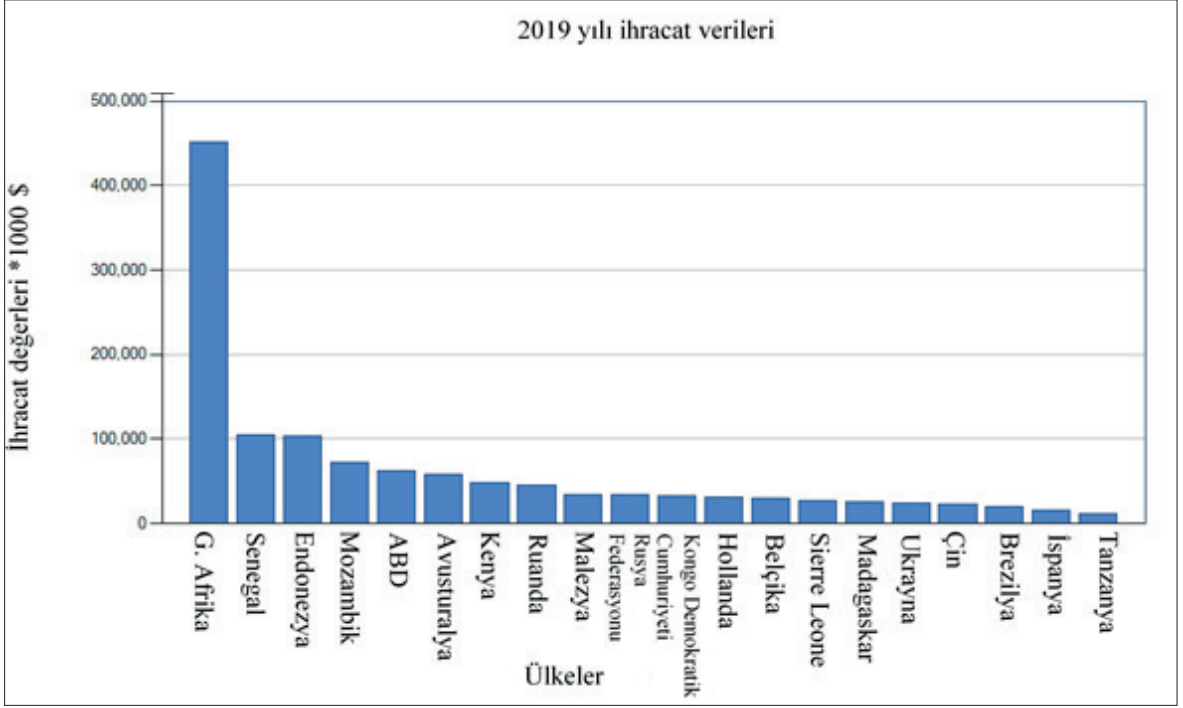
Bazı dökümhane uygulamalarında zirkon yerine kromit ve olivin kullanılabilir. Dolomit ve spinel



Şekil 8- 2019 yılı Nb, V, Ta ve zirkonyum cevher ve konsantrelerinin dünya ithalat değerleri (x1000 \$).

Çizelge 8- Türkiye yıllara göre zirkon üretimi.

Yıl	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018
Zirkon (Tüvenan) (ton)	500	200	0	1100	1500	500	1200	1950



Şekil 9- 2019 yılı Nb, V, Ta ve zirkonyum cevher ve konsantrlerinin dünya ihracat değerleri (x1000 \$).

refrakterler bazı yüksek sıcaklık uygulamalarında zirkonun yerini alabilir. Niyobyum (kolombiyum), paslanmaz çelik ve tantal nükleer uygulamalarda sınırlı ikame sağlar. Titanyum ve sentetik malzemeler bazı kimyasal işleme tesislerinde zirkon yerine kullanılabilir. Zirkonyum, bazı süper alaşımlarda hafniyum ile dönüşümlü olarak kullanılabilir (USGS, 2020, 2021).

10. Zirkon Ürünleri Piyasa Sınıflandırması

10.1. Oluşum Tipine Göre

Zirkon ürünleri oluşum tipine göre zirkon, zirkonya ve zirkonyum metali olarak sınıflandırılabilir. Zirkonyum silikat ($ZrSiO_4$) olarak da anılan zirkon kaba kum formunda kullanılabilir veya ince bir toz haline getirilebilir. Özellikleri, seramik karolar ve tıbbi implantlar dahil birçok günlük üründe kullanılmasının yanı sıra büyük endüstriyel uygulamalara sahip olmasını sağlar. Zirkonun teorik içeriği %67 zirkonya ve %32 silikadır ve tipik olarak % 0,2-4 aralığında küçük bir hafniyum yüzdesi içerebilir.

Zirkon kumu çok yüksek sıcaklıklarda eritilerek, zirkonyum oksit (ZrO_2) olarak da bilinen erimiş zirkonya oluşturmak için işlenebilir.

10.2. Uygulama Alanı/Ürün Tipine Göre

10.2.1. Zirkon Kumu

Zirkon kumunun ana kullanımı uygulama alanına göre ihtiyaç duyulan zirkon tozu, opaklaştırıcı, eritilmiş zirkonyum, zirkonyum kimyasalları, kimyasal zirkonya ve zirkonyum metale dönüştürülmesidir. Zirkon kumu ayrıca doğrudan dökümhane uygulamalarında, refrakterlerde ve diğer küçük uygulamalarda kullanılır (www.zircon-association.org).

10.2.2. Zirkon Tozu

Zirkon tozu, zirkon kumunun genellikle bilyalı değirmenlerde, kuru halde veya palp halinde öğütülmesiyle üretilir. Seramik fritler, döküm kalıp kaplamaları, refrakterler, sürtünme ürünleri, yalıtım elyafları ve cam gibi çeşitli uygulamalarda kullanılır. Uygulamaya bağlı olarak, partikül boyutu için tipik olarak -200 mesh (-75 μm) ve -325 mesh (-45 μm) gibi çeşitli spesifikasyonlar vardır. Zirkon tozu, dökme torbalarda veya kağıt çuvalarda paketlenir veya tankerlerde (toz veya palp olarak) teslim edilir (Zircon Industry Association, 2021).

Zirkon tozu ayrıca seramik sır, cam ve plastik endüstrisinde kullanılmaktadır. Sır friti için, opaklaştırıcı olarak kullanım için idealdir. Küçük zirkon ilaveleri, camın mekanik mukavemetinin iyileştirilmesine yardımcı olabilir ve takviyeli betonlarda kullanılan cam elyaflara alkali direnci kazandırabilir. Zirkon tozu aynı zamanda ateşe dayanıklı fırın eldivenlerinde ve epoksi reçineler için dolgu maddesi olarak kullanılabilir.

10.2.3. Zirkon Opaklaştırıcı

Zirkon için hacimce en önemli pazar seramik endüstrisidir. Bu sektörde zirkon temel olarak seramik gövde ve yüzey için bir opaklaştırıcı (veya beyazlatıcı) olarak kullanılır. İnce bir toz olarak zirkon, tüm seramik gövdenin beyazlığını arttırmak için doğrudan seramik karışımlarında kullanılabilir. Aynı zamanda opaklıklarını arttırmak için seramik sırlarda veya parlak, opak, beyaz sırlar üretmek için kullanılan frit kompozisyonlarında hammadde olarak kullanılır. Yüzey sırlarında kullanıldığında zirkon, aşınma ve kimyasal etkilere karşı direnci önemli ölçüde artırır.

Zirkonu uygun bir opaklaştırıcı yapan özellikler yüksek kırılma indisidir. İnce öğütülmüş zirkon taneleri görünür ışığı dağıtır ve seramiklerin beyaz, parlak ve opak görünmesini sağlar. d50, 2 µm ila 1 µm arasında değişen -10 µm, -5 µm ve -1 µm ürünler dahil olmak üzere çeşitli zirkon opaklaştırıcı tane boyları vardır.

10.2.4. Zirkon Kimyasalları

Zirkon kimyasalları çok çeşitli alanlarda gerek kendi asıl özellikleri gerekse diğer zirkonyum türevlerinin üretimi için ara ürünler olarak geniş kullanım alanı bulmaktadırlar. Zirkon kimyasallarının başlıcaları şöyledir:

- Zirkonyum oksiklorür (ZOC)
- Zirkonyum bazik sülfat (ZBS)
- Zirkon bazik karbonat (ZBC)
- Amonyum zirkon karbonat (AZC)
- Potasyum zirkonyum heksaflorür (KFZ)
- Zirkonyum fosfat
- Zirkonyum asetat
- Zirkonyum propiyonat

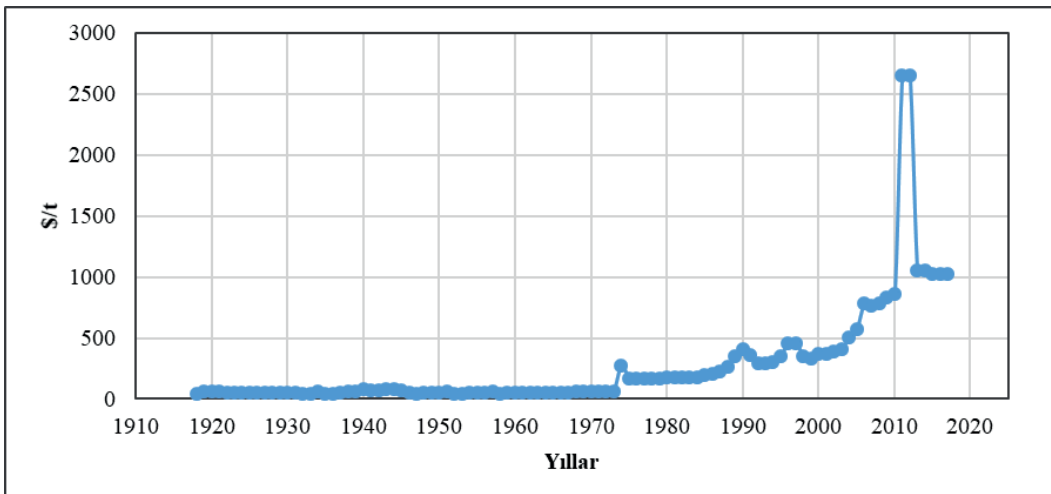
10.2.5. Zirkon Süngerleri ve Alaşımaları

Zirkonyum süngerleri, gaz enjekte edilerek veya köpükleştirici bir maddenin erimiş metale karıştırılması ile üretilir. Yüksek sıcaklıkta köpükleştirici madde ile stabilize edilen bir köpük oluşturulur. Ağırlıklı olarak nükleer endüstrisinde ve nükleer reaktör bileşenlerinde kullanılmak üzere zirkonyum alaşımaları üretmek için de kullanılır. Zirkonyum süngerler ayrıca kimyasal korozyona dayanıklı ekipmanlarda, elektron endüstrisinde, boru hattı vana malzemesinde, özel yüksek mukavemetli ve yüksek sıcaklık metal alaşımalarında, elektrikli vakum ve aydınlatmada ampul endüstrisinde kullanılmaktadır (www.refractorymetal.org).

11. Zirkon Pazar Durumu ve Fiyatları

USGS, 2020 verilerine göre ABD’de zirkon için fiyatlandırma Çizelge 9’da verilmiştir. Şekil 10’da ise zirkon fiyatlarının 1918’den itibaren değişimi verilmiştir.

Zircomet Ltd. verilerine göre, 2012 yılında zirkon kum fiyatı 2700 \$/t ile zirveye ulaştı (Şekil 11). Bu fiyat artışı sonucunda zirkon kullanan sektörler zirkon yerine ikame mineraller kullanmaya veya ürün

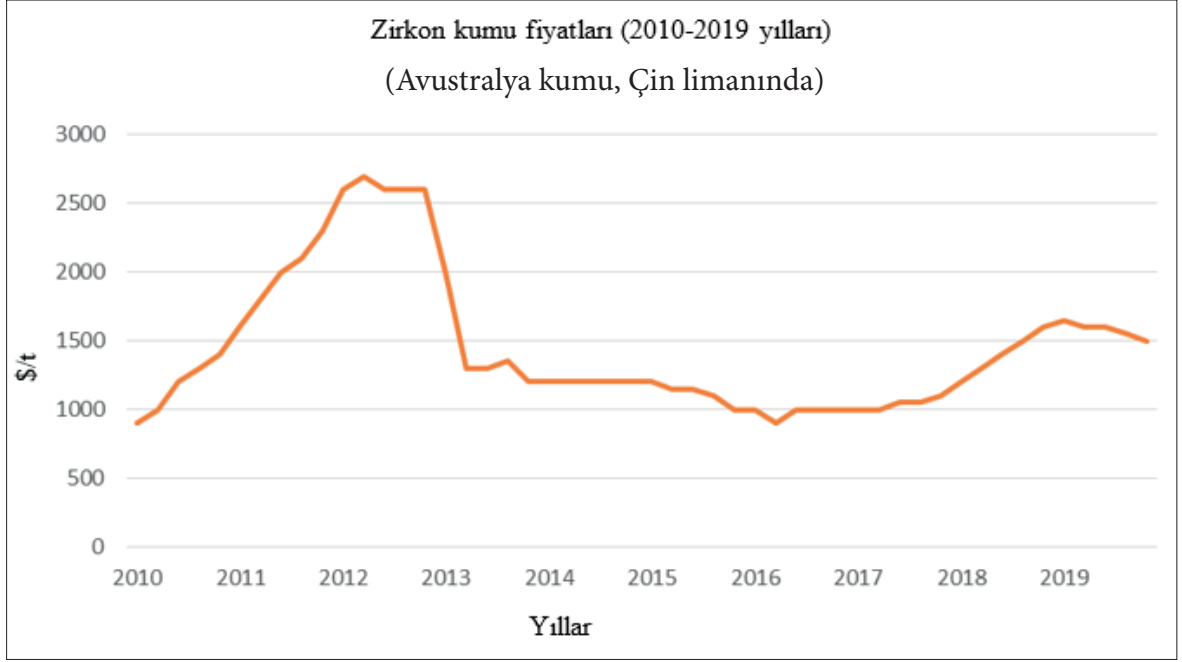


Şekil 10- Zirkon fiyatlarının 1918 yılından itibaren tarihsel değişimi.

Çizelge 9- Yıllara göre zirkon fiyatları (USGS, 2020).

Ülke	Birim	2015	2016	2017	2018	2019	2020
Avustralya (Güvertede satış)	\$/ton	1,025 \$	975 \$	975 \$	*	*	*
Çin (maliyet, sigorta ve navlun)	\$/ton	1061 \$	877 \$	916 \$	1290 \$	1490 \$	1400 \$
İşlenmemiş zirkon, Çin'den ithal	\$/kg	15	33	12	13	14	6

*Veri yok



Şekil 11- 2010-2019 yılları arasında zirkon kumu fiyat değişimi.

formülasyonlarından zirkonu tamamen çıkarmaya çalıştılar. Dolayısıyla sonraki yıllarda zirkon talebinde bir düşüş yaşandı. Yıllık talep, 2011'de 1,3 milyon ton'dan, 2013'te 1,0 milyon tona düştü. Talepteki bu düşüş, uzun yıllar süren büyük stokların oluşmasına yol açtı. 2013-2015 yılları arasında fiyatlar tekrar 1000-1200 \$/t seviyelerine geriledi. İstikrarlı bir talep artışı ve azalan stoklarla birlikte fiyatlar 2016'dan 2019'a kadar yükselmeye başladı ve mevcut 1500-1600 \$/t CIF Çin seviyelerine ulaştı. 2019'da zirkon talebi 1,2 milyon ton oldu.

Son 5 yıldır talepteki yıllık artış oranı % 1,5 civarındadır. Bu talebin 2020-2023 arasında % 2,7'ye çıkması beklenmektedir. Zirkon kumu talebi 2020'nin başlangıcında yumuşak artış sergiledi, ancak bunun kısa vadeli olduğu görüldü. 2020 yılındaki küresel ekonomik belirsizlikler ile tedarik zincirlerinin stoklarının azalması gündeme gelmiştir.

Asya ve Afrika orta sınıflarındaki artış ve devam eden kentleşme gibi uzun vadeli sağlam temellerin zirkon talebini artırması beklenmektedir.

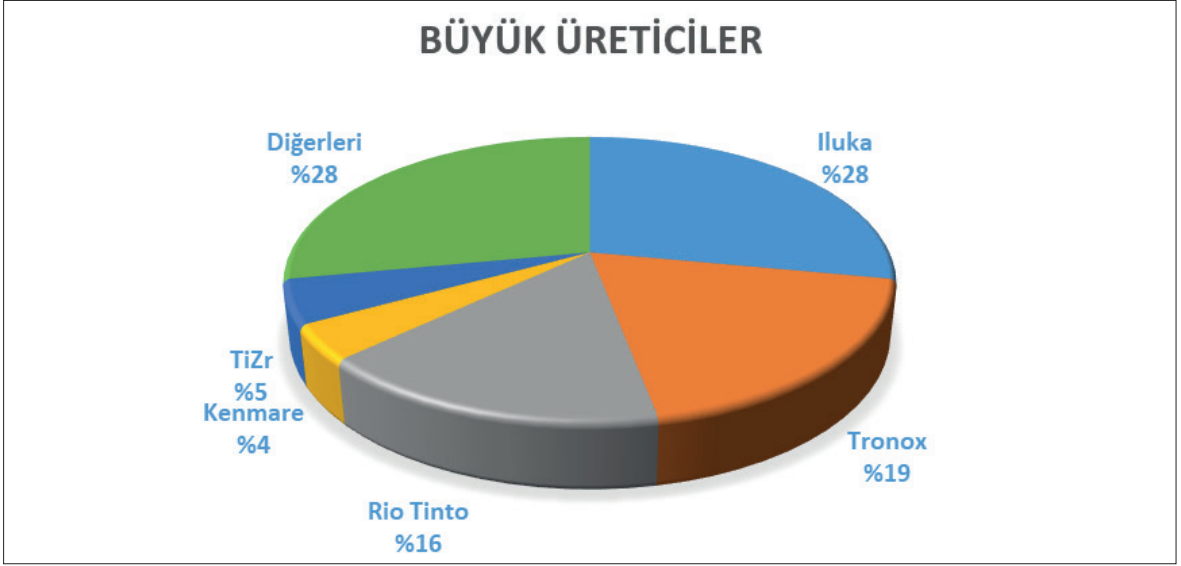
Çünkü fayans, sıhhi tesisat ve sofrta takımı gibi seramikler zirkon kum tüketiminin %50'den fazlasını oluşturmaktadır. Zirkon kumu piyasa değeri 1,5 milyar \$ civarındadır.

2019 yılında, zirkonyum kimyasalları ve erimiş zirkonyum oksit üretimi için zirkon kumu talebi, yaklaşık 240 bin ton/yıl beklenirken 170 bin ton/yıl olarak azalma göstermiştir. Çin, küresel zirkonyum kimyasalları ve zirkonyum oksit üretiminin yaklaşık % 90'ını gerçekleştirmektedir.

12. Başlıca Zirkon Üreticileri

Başlıca üreticiler Iluka Resources, Richards Bay Minerals ve Tronox/Cristal'dir (Şekil 12).

- Iluka'nın zirkon üretimi esas olarak Güney Avustralya'daki Jacinth-Ambrosia madeninden yapılmaktadır.
- Rio Tinto, Güney Afrika'da Richards Bay Minerals'in sahibidir.

Şekil 12- Zirkon üretiminde büyük üreticiler (<http://www.zircomet.com>).

- Tronox/Cristal, hem Güney Afrika’da hem de Avustralya’da madenlere sahiptir.
- Kenmare, Mozambik’teki Moma madeninin sahibidir.
- TiZr, Senegal’de bir maden işletmektedir.
- Diğer üretim Çin ve Endonezya’dan yapılmaktadır.

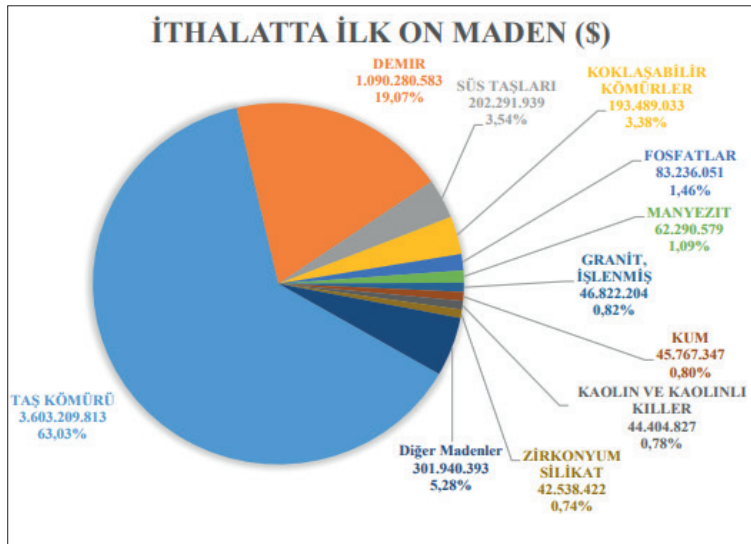
13. Türkiye’de Dış Ticaret

Türkiye maden ithalat ürünlerini değer (\$) bazında incelediğimizde ilk 10 sıralama; taş kömürü, demir, süs taşları, koklaşabilir kömürler, fosfatlar, manyezit, işlenmiş granit, kum, kaolin ve kaolinli killeri ile zirkonyum silikat şeklindedir (Şekil 13). İlk 10 üründe toplam 5.414.330.798 \$ ithalat gerçekleşmiştir.

Toplam maden ithalatımızdaki 10 ürünün payı %94,7 civarındadır. Çizelge 10’da zirkonyum silikatın ithal edildiği ülkeler ve miktarları, Çizelge 11’de ise yıllara göre Türkiye’nin zirkonyum silikat ithalat ve ihracat değerleri verilmiştir (www.mta.gov.tr).

Tartışma ve Sonuç

Zirkon 2000 yıllık geçmişi ile insanlık tarihinde bilinen en eski minerallerden biridir. Dünyanın yaşının hesaplanmasında ve oluşum koşullarına ait bilgiler edinilmesinde de çok önemli bir rol oynamıştır. Zirkonyum metali korozyona dayanıklılığı ve nötron absorplama özelliğinin çok olması nedeniyle nükleer reaktörlerin yapı malzemesi olarak, yanıcı özelliğinden dolayı askeriyede, düşük sıcaklıklarda süperiletken özelliği nedeniyle zirkonyum-niobyum



Şekil 13- Türkiye’de ithalatta ilk on maden ve payları.

Çizelge 10- Zirkonyum silikatın ithal edildiği ülkeler ve miktarları.

ÜLKELER	MİKTAR (Ton)	DEĞER (\$)
İspanya	6.299	10.660.342
Hollanda	3.749	6.527.230
Endonezya	2.245	3.708.558
Almanya	1.720	3.055.126
Ukrayna	1.552	2.382.929
İtalya	4.852	8.418.058
Senegal	1.484	2.217.269
Tayland	1.033	1.711.783
Malezya	738	1.308.191
Diğer Ülkeler	1.384	2.548.936
TOPLAM	25.056	42.538.422

Çizelge 11- Türkiye zirkonyum silikat maden dış ticareti.

Ürün	Yıllar	İHRACAT		İTHALAT	
		MİKTAR (Ton)	DEĞER (\$)	MİKTAR (Ton)	DEĞER (\$)
ZİRKONYUM SİLİKAT	2014	26.150	39.397	24.008	33.174.049
	2015	26.150	45.965	29.542	36.272.657
	2016	113.404	124.520	30.435	31.881.398
	2017	59.687	103.086	33.940	42.064.081
	2018	85.85	189.415	29.731	51.913.704
	2019	344	752.974	25.056	42.538.422

Gümrük Tarife İstatistik Pozisyonları (GTIP) sınıflamasına göre zirkon içerikli farklı ürün gruplarının ticareti yapılmaktadır. Zirkon ile ilgili ürün tanımlamaları ve tarife numaralarının bir kısmı Çizelge 12’de verilmiştir (www.immib.org.tr).

Çizelge 12- Zirkon ticari ürünleri ve tarife numaraları.

GTİP Kodu	Ticari Ürün Tanımı
282690100000	Dipotasyum Hekzaflorzirkonat
810920000011	İşlenmemiş Zirkonyum
261510000000	Zirkonyum Cevherleri ve Zenginleştirilmiş Zirkonyum Cevherleri
282560000012	Zirkonyum Dioksit
810930000011	Zirkonyum Döküntüleri
810930000012	Zirkonyum Hurdaları
283990009012	Zirkonyum Silikat
253090009032	Zirkonyum Silikat (Mikronize)
810920000012	Zirkonyum Tozları
8109	Zirkonyum ve Zirkonyumdan Eşya
810990000000	Zirkonyumdan Diğer Eşya

alaşımaları ve süperiletken mıknaatısların yapımında ve ışık geçirgenliği ve dayanıklılığı nedeniyle dişçilikte ve daha birçok alanda kullanılmaktadır. Sahip olduğu üstün özellikleri ile ileri teknoloji hammaddeler arasında yer almıştır. Kullanım alanları her geçen gün daha da artmakta ve talep artışı yaşanmaktadır. Dünyada tespit edilen rezerv miktarı 62 milyon ton olup, yıllık yaklaşık 1,5 milyon ton da tüketimi yapılmaktadır. Dolayısıyla artışın olmadığı düşünülürse bugünkü koşullarda yaklaşık 40 yıllık bir rezervin kaldığı söylenebilir.

Değınilen Belgeler

- Advanced Refractory Metals, <https://www.refractorymetal.org/industrial-grade-zirconium-sponge/> 21.03.2021.
- Asian Metal, <http://metalpedia.asianmetal.com/metal/zirconium/resources&production.shtml> 21.03.2021.
- Australian Government Geoscience Australia, <https://www.ga.gov.au/education/classroom-resources/minerals-energy/australian-mineral-facts/zircon> 24.03.2021.
- DPT, 2001, Sekizinci Beş Yıllık Kalkınma Planı Madencilik Özel İhtisas Komisyonu Raporu Metal Madenler Alt Komisyonu İleri Teknoloji Hammaddeleri Çalışma Grubu, ÖK 633, https://www.sbb.gov.tr/wp-content/uploads/2018/11/08_Madencilik_MetalMadenler_ileriTeknolojiHammaddeler.pdf 24.03.2021.
- Enerji Portalı, www.enerjiportali.com.
- İstanbul Maden ve Metaller İhracatçı Birlikleri, <https://www.immib.org.tr/tr/online-islemler-gtip-arama.html> 25.03.2021.
- Köroğlu, V. 2013. Refrakter Üretimine Yönelik Olarak Zirkonya Stabilizasyon Çalışmaları, İstanbul Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Seramik Mühendisliği Programı, Yüksek Lisans Tezi.
- Maden ve Petrol İşleri Genel Müdürlüğü, Maden İstatistik Bilgileri http://www.mapeg.gov.tr/maden_istatistik.aspx 20.03.2021.
- Madencilik Rehberi, (www.madencilikrehberi.files.wordpress.com/2012/02/zirkon.doc).
- Makaleler.com, <https://www.makaleler.com/>
- Maden Tetkik ve Arama Genel Müdürlüğü, <https://www.mta.gov.tr/v3.0/sayfalar/bilgi-merkezi/turkiyede-madencilik/2019-yili-maden-dis-ticaret.pdf>
- National Geographic, <https://www.nationalgeographic.com/science/article/news-earth-rocks-sediment-first-life-zircon> 24.03.2021.

- National Geographic, <https://www.nationalgeographic.com/science/article/140224-oldest-crust-australia-zircon-science>.
- Ramazanoğlu, Ş. 2002. Zirkonyum ve Zirkon, SAU Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi Cilt 6, Sayı 2 21.03.2021.
- S&P Global Market Intelligence, <https://www.spglobal.com/marketintelligence/en/news-insights/latest-news-headlines/iluka-resources-to-cut-fy-20-zircon-production-over-covid-19-uncertainty-58349834> 25.03.2021.
- The German Mineral Resources Agency (DERA), February 2013, Zircon –insufficient supply in the future? DERA Rohstoffinformationen 19.03.2021.
- The Observatory of Economic Complexity (OEC), https://oec.world/en/visualize/tree_map/hs92/import/show/all/5261510/2019/. 23.03.2021.
- Trade Statistics for International Business Development, https://www.trademap.org/Country_SelProduct_Graph.aspx?nvpm 24.03.2021
- Touch-Down Technology Co. Ltd., https://www.touchdown.com.tw/tr/material-property/Seramik-rne-uygulanan-Zirkonyum-Oksit/material-property_zirconium-oxide.html 21.03.2021.
- Türkiye Bilimsel ve Teknolojik Araştırma Kurumu (TUBİTAK) Bilim Genç, <https://bilimgenc.tubitak.gov.tr/makale/dunyanin-yasi-nasil-tahmin-ediliyor> 18.03.2021.
- USGS (The United States Geological Survey), 2021. <https://pubs.usgs.gov/periodicals/mcs2021/mcs2021-zirconium-hafnium.pdf> 21.03.2021.
- USGS (The United States Geological Survey), 2021. <https://pubs.usgs.gov/periodicals/mcs2020/mcs2020-zirconium-hafnium.pdf> 21.03.2021.
- USGS, 2017. Minerals Yearbook, Zirconium and Hafnium [Advance Release] <https://prd-wret.s3.us-west-2.amazonaws.com/assets/palladium/production/atoms/files/myb1-2017-zirco.pdf> 18.03.2021.
- Wikipedia Zircon, <https://en.wikipedia.org/wiki/Zircon>
- Zircon Industry Association, www.zircon-association.org/about-zircon.html#properties: 20.03.2021.
- Zircon Industry Association, <https://www.zircon-association.org/about-zircon.html#sand> 20.03.2021
- Zirconet Limited, <http://www.zirconet.com/sec/11189/Zirconium-Market-Update/> 21.03.2021