

TÜRKİYENİTİN (TÜRK MOR JADESİ) GEMOLOJİK VE MİNERALOGİK İNCELEMESİ VE OLUŞUM KÖKENİNİN BELİRLENMESİ

*Yasemin BAŞEVİRGEN¹, Murat HATİPOĞLU^{1,2}, Yaşar KİBİCİ³

¹Dokuz Eylül Üniversitesi, İzmir Meslek Yüksekokulu, Kuyumculuk ve Takı Tasarımı Programı, 35380, İzmir, yasemin.basevirgen@deu.edu.tr

²Dokuz Eylül Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Doğal Yapı Taşları ve Süs Taşları Anabilim Dalı, 35370, İzmir, murat.hatipoğlu@deu.edu.tr

³Dumlupınar Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Jeoloji Mühendisliği Bölümü, 43100, Kütahya, kibici@dumlupinar.edu.tr

Geliş Tarihi: 26.03.2013

Kabul Tarihi: 20.11.2013

ÖZET

Bu çalışma Harmancık-Bursa bölgesinde, Geç Mesozoyik yaşlı düzenli istifsel mavişist fasiyesinin metaklastik kayaları ile Erken Senozoyik yaşlı sokulum yapmış granodiyorit kütesinin sınırındaki iri boyutlu kontak metamorfik hale (dilim) olarak oluşmuş mor jade üzerine yapılmıştır. Mor renkli bu malzeme Türkiye’de, sadece bu bölgede bulunur. Bu nedenle, dünya süstaşı pazarında özel olarak “Türk (ve/veya Anadolu) mor jadesi” olarak adlandırılır. Başlıca jadeit, kuvars, ortoz, epidot, kloritoid ve flogopit minerallerinden meydana geldiği belirlenen ve süstaşı niteliği taşıyan mor jadenin ortalama özgül ağırlık değeri 3.04 olarak bulunmuştur. Türk mor jade örnekleri, saçınımlı konfokal mikro-Raman spektroskopisi ve diğer iyi bilinen analitiksel metotlar kullanılarak karakterize edilmiş ve detaylı tanımlamak için incelenmişlerdir. Sonuç olarak, bu parametreler, orijinal Türk mor jadesinin coğrafik oluşum kökeniyle ilgili kesin veriler sağlamaktadır.

Anahtar kelimeler: *Türkiyenit, Türk mor jadesi, Harmancık-Bursa bölgesi.*

GEMMOLOGICAL AND MINERALOGICAL INVESTIGATIONS AND GENESIS OF THE TURKIYENIT (TURKISH PURPLE JADE)

ABSTRACT

This study is based on a purple jade formed as an extensive contact metamorphic aureole at the border between the Late Mesozoic coherent metaclastic rocks of blueschist facies and the Early Cenozoic intrusive granodiorite stock. This purple-colored material is only found in this provenance in Turkey. Therefore, it is specially called “Turkish (and/or Anatolian) purple jade” on the worldwide gem market. Specific gravity value of the purple jade called as the gemstone, which mainly includes the minerals of jadeite, quartz, orthoclase, epidote, chloritoid and phlogopite, is found average value of 3.04. Dispersive confocal micro-Raman spectroscopy, as well as the other well-known analytical methods was used to characterize and identify in detail the Turkish purple jade samples. Finally, these parameters provide positive identification with the provenance (geographic origin) of the original Turkish purple jade.

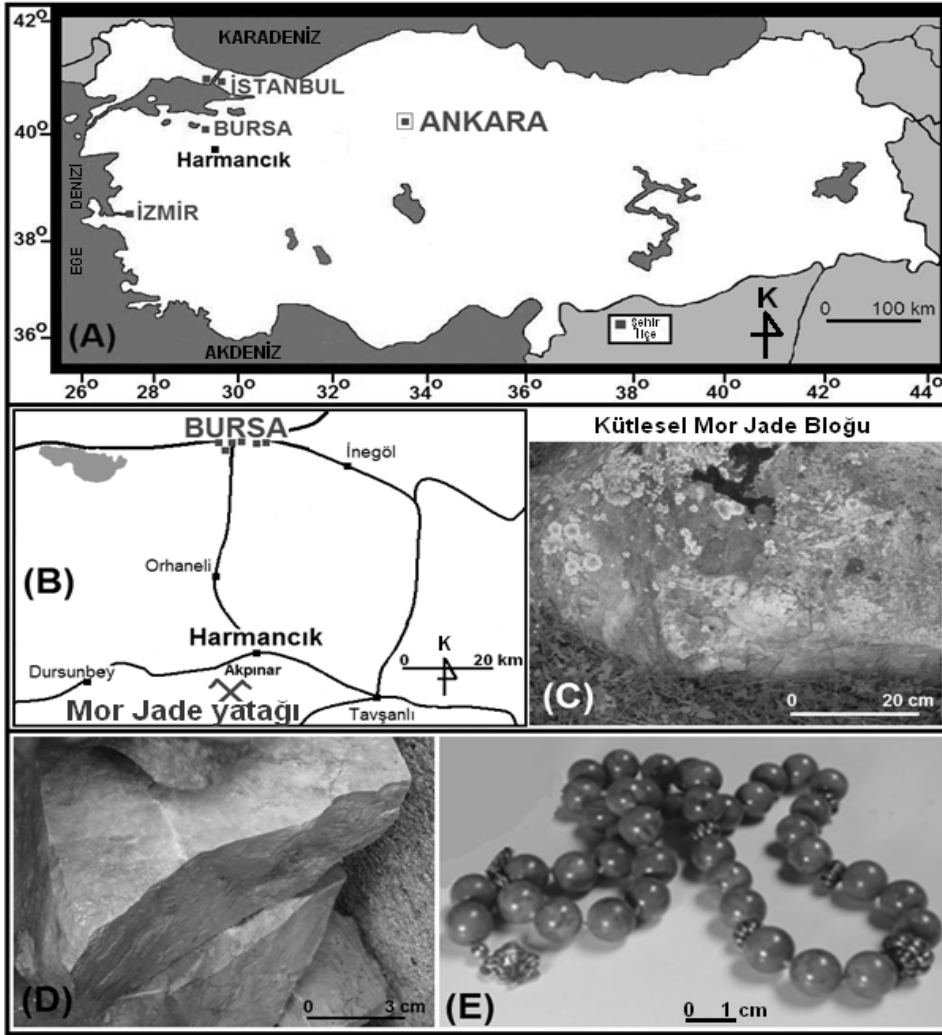
Keywords: *Turkiyenite, Turkish purple jade, Harmancık-Bursa region.*

1. GİRİŞ

1.1. Jade'nin Terminolojisi Ve Tarihi

'Jade' kelimesi, İspanyol terimi olan 'piedra de ijada'dan türetilmiştir. Çünkü İspanyollar Meksika'yı fethettikleri zaman, Meksika'daki halkın iç hastalıklara karşı kür yapmak için jadeiti toz haline getirdiklerini ve bazen de su ile karıştırdıklarını görmüşlerdir. Bu terimin kayıtlı ilk kullanımı Nicol Monardes tarafından 1565'te, Yeni Dünya'nın şifalı bitkileri üzerine yazılan bir çalışmasında yer almıştır[1, 2].

Süstaşı ticaretinde kullanılan "jade" terimi, aslında iki minerale işaret eder; jadeit (piroksen grubu) $(\text{Na}(\text{Al},\text{Fe})\text{Si}_2\text{O}_6)$ ve nefrit (amfibol grubu) $[\text{Ca}_2(\text{Mg}, \text{Fe})_5\text{Si}_8\text{O}_{22}(\text{OH})_2]$ [3, 4, 5, 6, 7]. Bununla beraber, jadeit, kimyasal bileşim açısından nefritten farklıdır ve oldukça doymuş renk, daha yüksek derecede yarı saydamlık, daha yüksek sertlik ve camsı bir görünüm sergiler[8]. Üstün özelliklerinden dolayı, jadeit, sanat ve süstaşı koleksiyoncuları arasında "Jade" tercihi olarak kısa sürede nefritin yerine geçmiştir. Ayrık taşlar ve/veya tarihi ve arkeolojik ürünler üzerinde mihlanmış taşlar olarak yer alan kesilmiş ve parlatılmış jadeitler, bugüne kadar, Avrupa ve Türkiye'de çeşitli arkeolojik kazılardan çıkartılmıştır. Bununla birlikte, Avrupa ve Türkiye'deki bölgelerde rapor edilen ham yeşil jadeit oluşumlarının varlığı (maden yatakları) çok nadirdir. Avrupa'da Batı Alpler ve Avusturya, jadeit mineralinin ve jadeitik-jade malzemesinin (içeriğindeki bazı diğer minerallerle birlikte) ana kaynağı olarak görünür[1, 9, 10, 11, 12, 13]. Bununla beraber, mor renkli jade malzemesi, 1970'li yıllarda, Türkiye'de sadece bir bölgede bulunmuştur (Şekil 1A ve 1B, Şekil 2). Harmanlık-Bursa bölgesini kapsayan jeolojik çalışmaların yüzeysel ve daha sonradan detaylı incelemeleri ortaya çıkarmıştır ki, bu kompakt malzeme kütlesi (Şekil 1C), Geç Mesozoyik yaşlı düzenli mavişist metamorfik kuşağı ile Erken Senozoyik yaşlı sokulum yapmış granodiyorit arasındaki sınırda yer alan bir metamorfik zona aittir [14, 15, 16, 17, 18, 19]. Malzemenin tonlarca miktarı ticari olarak çıkartılmış ve 1980'lerden itibaren "Türk mor jade'si" özel ismiyle yurtdışına ihraç edilmeye devam etmektedir. Bu nedenle, hem parlatılmış birçok mor jade süstaşı objesi hem de işlenmemiş süstaşı örnekleri (Şekil 1D ve 1E) dünya genelindeki müzelerde ve özel koleksiyonlarda, orijini sadece Türkiye'nin Harmanlık-Bursa bölgesindeki maden yatağı olduğu kabul edilerek, halen muhafaza edilmektedir [20, 21].



Şekil 1. Türkiye'nin Harmancık-Bursa bölgesini gösteren yer bulduru haritaları (A) ve (B). Türk mor jade malzemesi, arazi üzerinde devasa bloklar halinde bulunur (C). Süstaşı kalitesindeki mor jade'den kırılmış iri ham parçalar (D). Kesilmiş ve parlatılmış süstaşı jade objeleri, gümüşlü parçalara sahip tespihler olarak Türkiye'de yaygınca kullanılmaktadır (E).

1.2. Amaç Ve Kapsam

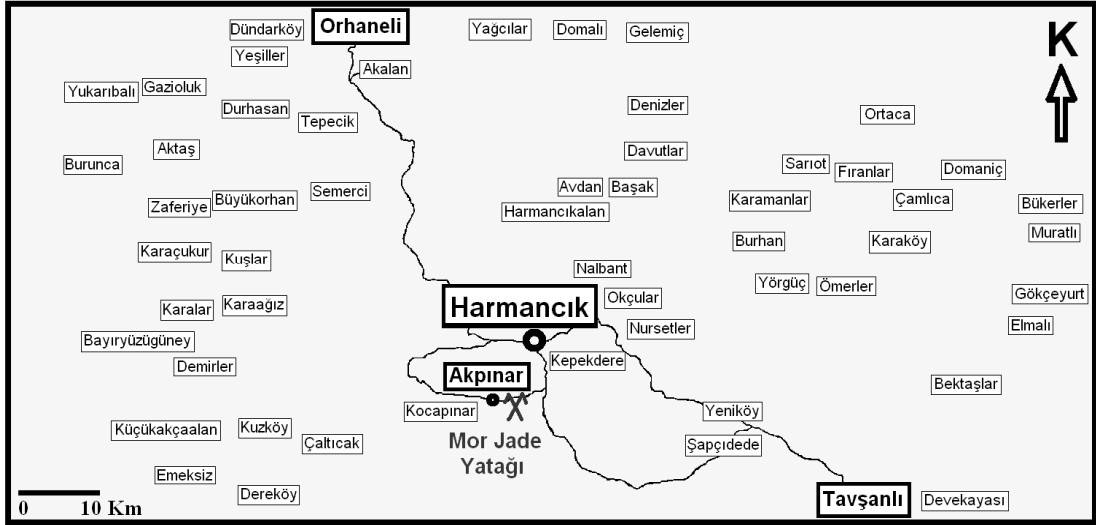
Çalışma, (1) mor jade süstaşının jeolojik oluşum koşullarını vermeyi, (2) mor jade'nin bilinen tek maden yatağının coğrafik yerleşimini saptamayı, (3) doğal oluşumlu kıymetli Türk mor jadenin tayfsal konfokal mikro-Raman titreşimsel bantları, X-ışını kırınım kalıbı, özgül ağırlık değeri, polarizen mikroskop görüntüleri, ana ve iz element içeriği, fotoluminesans (PL), radyoluminesans (RL), katodoluminesans (CL) ve termoluminesans (TL) grafiklerini içeren güvenilir karakteristik özelliklerini göstermeyi ve böylece (4)

Türk mor jadesini diğer doğal, yapay ve/veya renk tedavisi görmüş jadelere ayırt edebilmeye imkan sağlamayı amaçlamaktadır.

2. MATERYAL VE YÖNTEM

2.1. Materyal

Mor jade örnekleri, Bursa ilinin, Harmancık ilçesinin, Akpınar köyü yakınındaki bölgeden toplanmıştır (Şekiller 1A ve 1B, Şekil 2). Dünya çapındaki birçok bölgede yataklanmış yeşil ve beyaz renkli jade'ler çok eski zamanlardan beri bilinse de, süstaşı kalitesindeki mor jade içeren zengin maden yatağı yeri şimdiye kadar literatürde bildirilmemiştir. Bu nedenle, dünyanın tek bilinen mor jade kaynağı, jeolojik olarak incelenmiş bu bölge içerisinde bulunur. Mor jade malzemesinin en tipik ham blokları (Şekil 1C), Akpınar yakınında yer alan, halen işletilmeyen sahadan elde edilmiştir. Kaba kristalinden ziyade ince taneli (fine-grained) olan bu kütsel malzeme (Şekil 1D), çeşitli süstaşı objeleri (Şekil 1E) olarak kesilmeye çok uygundur.



Şekil 2. Orhaneli (Bursa) ve Tavsanlı (Kütahya) ilçeleri arasında kalan, mor jade yatağını kapsayan Akpınar-Harmancık bölgesinin genişletilmiş yer bulduru haritası.

2.2. Aletsel Yöntemler

Çok sayıda mor jade örneğinin özgül ağırlık (SG) değerleri, bir özgül ağırlık kiti ve çok hassas elektronik teraziyle (0,001 ölçüm hassasiyeti) ölçülmüş ve $(SG = W_{\text{hava}} / W_{\text{hava}} - W_{\text{su}})$ formülüne dayanılarak hesaplanmıştır. Bu ölçümler, Dokuz Eylül Üniversitesi Gemoloji Test Laboratuvarı'nda (DGL) yapılmıştır. Mor jade örneklerinin temel yapı bileşenleri, X-ışını toz kırınım kalıp analizi ile bir Cu-tüp ve grafik monokromatorlu bir Cubi-XRD cihazı kullanılarak, ölçülmüştür.

Mor jade örneklerinin kimyasal analizleri, ana oksitler için X-ışını floresans (XRF) ve iz elementler için tümevarımsal yolla birleştirilmiş plazma-atomik salınım spektroskopu (ICP-AES), ek olarak yanma

kayıplarını saptamak için WST-SIM kullanılarak gerçekleştirilmiş. Mor jade örneklerinin saçınımsal konfokal mikro-Raman spektroskopisi için, oda sıcaklığında, karanlık bir ortamda, yüksek çıkıtlı bütünleşmiş grafikli HORIBA Jobin Yvon Scientific XPLORE dispersif mikro-Raman spektrometresi (DCµRS) kullanılmıştır. Spektrometre, 532 nm civarında tek lazer uyarımı kullanmaktadır.

Türk mor jade örneklerinin *fotoluminesans* (3D-PL) morfolojileri, Fluorolog 2T Flüoresans Spektrometresi kullanılarak elde edilmiştir.

Türk mor jade örneklerinin *radyloluminesans* (3-D RL) morfolojileri, yaklaşık 4 nm'lik bir saçınımsal çözünürlüğe sahip, 200 ve 800 nm arasında belirleme kapasitesine sahip $f/2.2$ optikler ile yüksek-hassasiyetli dalga boyu çoklaştırılmış sistem üzerinde gerçekleştirilmiştir. Mor jade örneklerinin katodoluminesans (CL) grafikleri, 77 K ve 300 K sıcaklıklarında, $0.4 \mu\text{Acm}^{-2}$ geçerli akım yoğunluklarında 14 keV elektronları kullanılarak alınmıştır.

Tipik mor jade örneklerinin termoluminesans (TL) kızdırma eğrileri, 50'den 400 °C'ye kadar aralıktaki sıcaklıklarda, N₂ atmosferinde 2 Cs⁻¹'in doğrusal ısıtma oranına sahip Harshaw 3500'ün bilgisayar kontrollü termoluminesans dozimetre okuyucusu kullanılarak kaydedilmiştir.

3. TARTIŞMA

3.1. Mor Jade Yatağının Jeolojisi Ve Oluşum Kökeni

Mor jade yatağının çevresindeki bölgenin jeolojisi, daha önce yapılan saha gözlemleri dikkate alınarak tekrar incelenmiştir. Harmancık-Bursa bölgesinin geniş ölçekte Mezozoik dönem boyunca Tetis Okyanusu ile birbirinden ayrılan iki farklı kıtasal kabuğa (Kuzey'de Sakarya ve Güney'de Anadolu-Toros bloğu) ait olan karmaşık jeolojik oluşumları gösterdiği belirlenmiştir. Ayrıca, Tersiyerin başlarında, bu iki karasal blok çarpıştıktan sonra, bölge Geç Alp Orojenezi ile tektonik olarak etkilenmiştir[22, 23, 24, 25].

Tavşanlı zonu olarak bilinen düzenli istifsel (coherent) kaya birimleri özellikle ilgi çekmiştir. Çünkü bu kayalar çalışmanın esas konusu olan mor jade malzemesi içerirler. Tavşanlı Zonu, dünyadaki en geniş ve en iyi korunmuş glokofan-lavsonit mavişist kuşaklarından birinden meydana gelmiştir. Kretase mavişistler, tektonik olarak bir Kretase okyanus genişlemesi kompleksi ve ofiyolit tarafından üzeri örtülmüş haldedir. Bu iki zonu ayıran birleşim, bir ana doğrultu atımlı fay ile temsil edilir[14, 15, 16, 17, 18, 19]. Buna göre, kuzey-batıdan (Orhaneli-Bursa) güney-doğuya (Tavşanlı-Kütahya) uzanan bölge, esas olarak, ana Neo-Tetis birleşmesinin güneyindeki bir mavişist metamorfik kompleks serisi ile örtülmüştür[19, 24]. Tam olarak, bölge, orojenik kuşak içinde bir mavişist zonu olarak şu an mevcut olan bir dalan kıtasal kabuğu temsil eder.

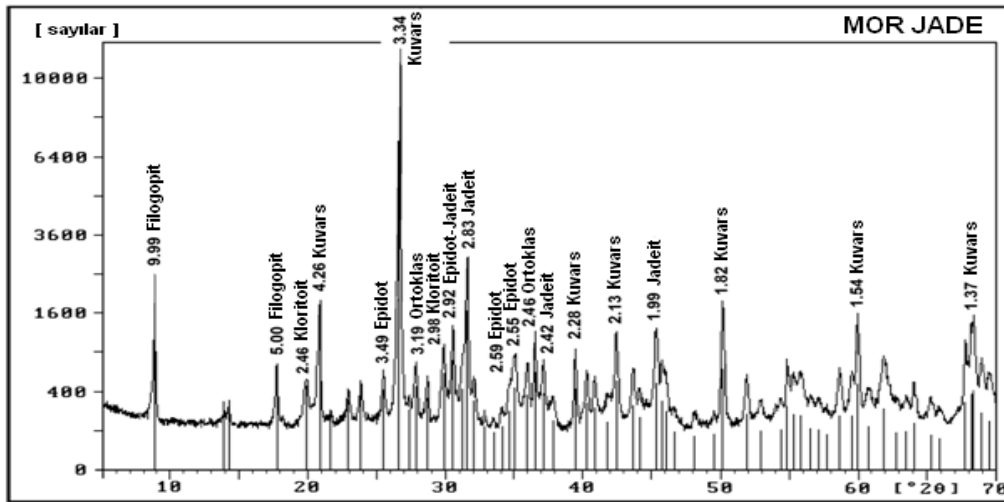
Yayımlanan önceki çalışmalarda, bölge içinde iki önemli jeolojik görünüş – yaş ve birikimsel özellikler – saptanmıştır [18, 24]. *İlki*, mavişist metaklastik kayaların bazılarında alınan fengit Rb-Sr ve Ar-Ar verileri, yüksek basınç/yüksek sıcaklık (HP/LT) metamorfizması için, kompleksin Geç Kretase (80±5 Myö) olarak yaşlandırıldığını, göstermektedir[26]. *İkinci* olarak, metamorfik kompleks, bir tektonik uyumsuzlukla bölünmüş, iki ana seriye ayrılmıştır; ilk seri, tabanda metapelitik şistler, ortada mermerler ve üstte de metabazitler, metaçörtler ve fillitlerden meydana gelir[14, 15]. Üstleyen ikinci seri, bazaltlar, radylaryalı çörtler ve pelajik şeylerden meydana gelir[16, 17, 26]. Bazı araştırmacılar, Tavşanlı Zonu'nun, jadeit, lavsonit ve glokofanın bölgesel dağılımına sahip, dünyanın en geniş ve en iyi korunmuş glokofan-lavsonit mavişist kuşaklarından birini teşkil ettiğini belirtmiştir[17]. Özellikle, zondaki mavişist metapelitleri jadeit, lavsonit, kloritoid ve glokofana sahiptir. Bu nedenle, mor jade'ler jadeit, K-feldspat ve lavsonit ihtiva eder.

3.2. Mineralojik Bileşim

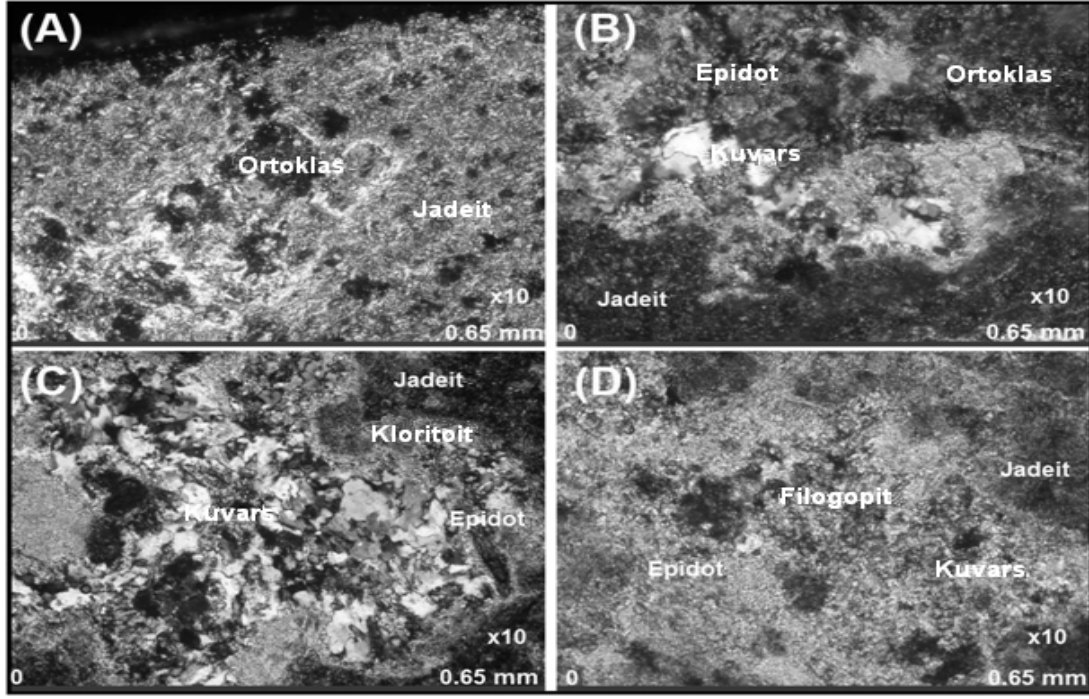
Tavşanlı Zonu'nun bu metamorfik serisi, sonradan, iki büyük sokulum yapmış granodiyorit bileşimli Orhaneli ve Topuk stokları denilen [23] intrüzifler tarafından kesilmiştir [17]. Bunlar, aynı zamanda Tavşanlı Zonu'na ait olan kuvars, plajiyoklas, ortoz, hornblend ve biyotitten meydana gelmişlerdir. Granodiyoritlerin Ar-Ar tekniği temel alınarak yapılan yaşlandırması [16], Tersiyer'in Erken ve Orta Paleojen (Paleosen ve Eosen) Dönemi (65'den 37.8 Myö'e dek) süresince bu stoklar mavişist metaklastik kayaları içerisine sokulmuştur. İlâveten, hornblend mineral türlerinin analizi göstermektedir ki, bu sokulum bölgedeki mevcut topografya altında yaklaşık 10 km'lik bir derinlikten kaynaklanır [15, 17, 23]. Granodiyorit bileşimli intrüzif kütlelerin algılanabilir deformasyon yapıları göstermediğinden dolayı, onların mavişist metaklastik kayalar içine doğru artan sokulumları, Erken Paleojen Dönem'deki Tetis Okyanusunun her iki yanındaki iki bloğun çarpışmasından sonra meydana gelmiş olmalıdır.

Tersiyer'in Geç Paleojen (Oligosen) Dönemi (37.8'den 23 Myö'e dek) süresince, mavişist metaklastik kayaları ve sokulum yapan granodiyorit intrüzif kütlesi arasındaki sınırdaki oluşturulan bir silisçe zengin kalk-alkalen bileşime (Çizelge 2) sahip iri boyutlu kontak metamorfik hale (dilinim), meydana gelmiştir. Bu ikincil metamorfik kuşağımsı kütle, dünya genelindeki süstaşı piyasasında "Türk mor jade" olarak adlandırılan, ilginç ve benzersiz süstaşı malzemesi için ev sahipliği yapan kayadır. Bu halemsi (dilinimsi) zon, X-ışını kırınım yapısına (Şekil 3) ve polarizan mikroskobu görüntülerine (Şekil 4 ve 5) göre, başlıca jadeit, kuvars, ortoz, epidot, kloritoid ve flogopitten oluşan mineral topluluğuna da sahiptir.

X-ışını difraktometresi (XRD), heterojen mor jade kütlesi içindeki mineral topluluğunu tanımlamak için kullanılmıştır. Buna göre, Türk mor jade örneğinin XRD analizinden elde edilen sayısal veriler (Çizelge 1), karşılaştırmalı eşleştirme tekniği kullanılarak metamorfik halenin (dilinimin) temel yapıcı minerallerinkiler ile eşleştirilmiştir. Bu mineral bileşenleri, X-ışını kırınım grafiği (Şekil 3) üzerinde, okuyuculara yardım etmek için, kuvars, jadeit, ortoz, epidot, kloritoid ve filogopit olarak etiketlenmiştir (Şekil 3). İlâveten, eser mineral miktarlarının (%4'ün altındakiler), XRD ile tespit edilemez olduğu belirtilmiştir.



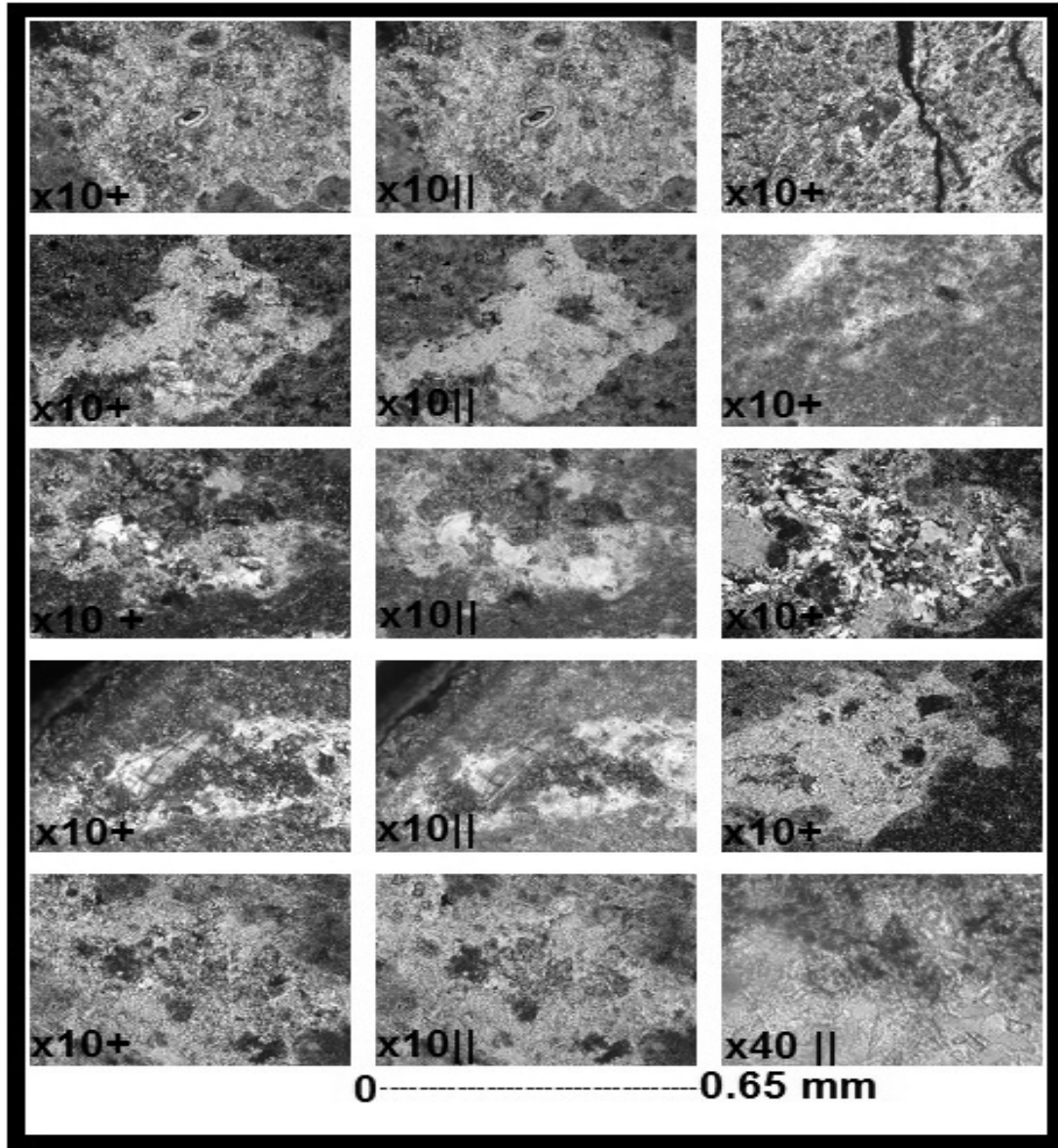
Şekil 3. Çizelge 1'deki sayısal deneysel XRD verilere göre, tipik Türk mor jade örneğinin XRD grafiği.



Şekil 4. Haç-nikolde görüntülenmiş (büyültme x10) tipik Türk mor jade'nin mikroskobik fotoğrafları. Ana bileşenler; jadeit-ortoklas (A), jadeit-kuvars-epidot-ortoklas (B), jadeit-kuvars-epidot-kloritoid (C) ve jadeit-kuvars-epidot-filogopittir (D).

Polarizan mikroskobu ile Türk mor jade'sinin ince kesitlerinin petrografik incelemeleri (Şekil 4 ve 5) göstermiştir ki, kontak metamorfik hale (dilim) yüksek rölyef ve koyu yeşilimsi-gri renge sahip jadeit kristalizasyonundan meydana gelmiştir. Bazı yerlerde, jadeit, hacmin %60'ından fazlasını kapsar. Mevcut diğer önemli mineral türleri, bazı opak mineraller ile birlikte, kuvars, ortoz, epidot, kloritoid ve flogopittir. Kimyasal hacim ve iz elementlerin analizleri, böyle bir mineral parajenezi ile özellikle daha yüksek Mn, Na, Ca ve K içerikleri ile tutarlıdır (Çizelge 2). Sonuç olarak, bu mor renkli kütlelerin, saf, ince-taneli mor jadeit olarak göz önüne alınmamları gerekir.

İnce kesitlerdeki jadeit içeriğinin % 34 ile % 85 ve K-feldspat içeriğinin de % 43'den sıfıra kadarki bir aralıkta, genelde, jadeitin yüzdesi yükseldikçe, K-feldspatların yüzdesi düşmektedir [14, 15, 16]. Türk mor jade'si, kütsel ince-taneli bloklar olarak, opak bir görünüme ve genelde soluk mor renge sahiptirler (Şekil 1C ve 1D). Kütlelerin bu eşsiz açık mor renkliliğinin aksine, örneklerin bazı kısımları, beyazımsı (kuvarsça zengin kısımlar ve damarlar) ve/veya sarımsı (kuvars ve ortoz bakımından zengin kısımlar ve damarlar) renklemeler gösterir. Bu nedenle, örneklerin bu kısımlarında, jadeitin bolluğunun nispeten daha düşük olduğu kabul edilebilir.



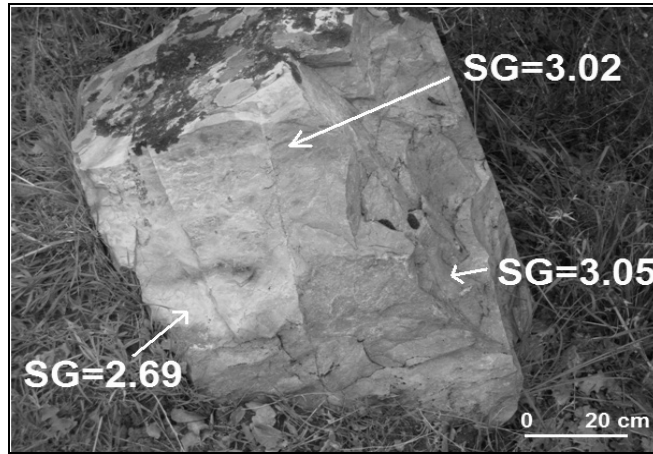
Şekil 5. Tipik Türk mor jade'lerinin çeşitli mikroskobik fotoğrafları.

Çizelge 1. Türk mor jade örneğinin XRD analizinden elde edilen sayısal veriler.

CUBI-XRD							
Sample identification: MO251110							
Data measured at: 25-Nov-2010							
Tube anode: Cu							
Wavelength Alpha1 [Å]: 1.54056							
Wavelength Alpha2 [Å]: 1.54439							
Start angle [°2θ]: 5.015							
End angle [°2θ]: 70.025							
Maximum intensity: 7551.610							
Intensities converted to: FIXED							
Number of peaks: 66							
Angle [°2θ]	d-value α1 [Å]	d-value α2 [Å]	Peak width [°2θ]	Peak int [counts]	Back. int [counts]	Rel. int [%]	Signif.
8.845	9.9893	10.0141	0.120	2162	331	28.6	5.99
13.890	6.3703	6.3862	0.090	130	174	1.7	1.01
14.235	6.2167	6.2322	0.150	154	166	2.0	1.86
17.740	4.9956	5.0080	0.120	557	130	7.4	3.30
19.910	4.4557	4.4668	0.150	346	114	4.6	2.03
20.850	4.2569	4.2675	0.120	1467	108	19.4	7.91
22.635	4.1042	4.1144	0.090	88	104	1.2	0.88
22.935	3.8744	3.8840	0.150	231	98	3.1	2.63
23.855	3.7270	3.7363	0.120	269	94	3.6	1.87
25.525	3.4868	3.4955	0.180	339	86	4.5	5.49
26.640	3.3434	3.3517	0.150	7552	83	100.0	31.85
27.400	3.2523	3.2604	0.090	154	81	2.0	2.00
27.890	3.1963	3.2043	0.180	384	79	5.1	5.73
28.740	3.1037	3.1114	0.210	259	77	3.4	8.83
29.895	2.9863	2.9938	0.180	538	74	7.1	6.68
30.565	2.9224	2.9297	0.180	713	72	9.4	9.17
31.245	2.8603	2.8674	0.180	357	71	4.7	1.45
31.575	2.8312	2.8382	0.150	1584	69	21.0	12.89
32.050	2.7903	2.7972	0.180	246	69	3.3	3.90
32.835	2.7254	2.7321	0.120	56	67	0.7	0.90
33.515	2.6716	2.6782	0.150	28	64	0.4	0.99
34.125	2.6252	2.6318	0.180	61	64	0.8	0.85
34.630	2.5881	2.5945	0.180	166	62	2.2	0.82
35.060	2.5573	2.5637	0.300	376	62	5.0	12.22
36.000	2.4927	2.4989	0.210	310	61	4.1	7.27
36.540	2.4571	2.4632	0.150	562	59	7.4	8.09
37.150	2.4181	2.4241	0.180	324	58	4.3	6.71
37.820	2.3768	2.3827	0.240	106	56	1.4	2.27
39.455	2.2820	2.2877	0.150	372	55	4.9	7.15
40.285	2.2369	2.2424	0.180	240	53	3.2	6.11
40.870	2.2062	2.2117	0.180	199	52	2.6	4.31
41.805	2.1590	2.1644	0.180	104	52	1.4	2.92
42.445	2.1279	2.1332	0.180	475	50	6.3	9.22
43.700	2.0697	2.0748	0.180	222	49	2.9	5.09
44.185	2.0481	2.0531	0.120	132	49	1.8	1.22
45.380	1.9969	2.0018	0.180	445	48	5.9	6.51
45.785	1.9801	1.9851	0.090	266	48	3.5	0.80
46.095	1.9675	1.9724	0.180	180	46	2.4	1.07
46.660	1.9450	1.9499	0.180	50	46	0.7	1.29
48.105	1.8899	1.8946	0.210	31	45	0.4	2.10
49.520	1.8392	1.8437	0.120	41	44	0.5	0.80
50.125	1.8184	1.8229	0.180	630	44	8.3	14.63
51.905	1.7601	1.7645	0.180	169	42	2.2	5.11
52.915	1.7289	1.7332	0.300	66	41	0.9	3.18
54.410	1.6849	1.6891	0.240	71	40	0.9	1.38
54.850	1.6724	1.6765	0.120	231	40	3.1	3.20
55.315	1.6594	1.6635	0.120	166	40	2.2	1.10
55.830	1.6453	1.6494	0.300	159	38	2.1	3.30
56.585	1.6252	1.6292	0.180	79	38	1.0	1.63
57.120	1.6112	1.6152	0.240	71	38	0.9	1.16
57.725	1.5957	1.5997	0.180	48	38	0.6	0.97
58.650	1.5728	1.5767	0.210	166	37	2.2	5.05
59.555	1.5510	1.5549	0.240	161	37	2.1	4.48
59.935	1.5421	1.5459	0.090	462	36	6.1	2.36
60.765	1.5230	1.5268	0.420	96	36	1.3	6.26
61.850	1.4988	1.5026	0.120	222	36	2.9	0.90
62.795	1.4785	1.4822	0.180	64	35	0.8	1.14
63.490	1.4640	1.4677	0.180	69	35	0.9	2.80
64.015	1.4533	1.4569	0.120	114	35	1.5	1.64
65.245	1.4288	1.4324	0.150	56	34	0.7	1.07
65.860	1.4170	1.4205	0.300	37	34	0.5	1.66
67.140	1.3826	1.3864	0.120	279	32	3.7	3.58
68.140	1.3750	1.3784	0.090	357	32	4.7	1.12
68.280	1.3725	1.3759	0.090	400	32	5.3	1.21
68.880	1.3620	1.3654	0.120	196	32	2.6	1.37
69.475	1.3518	1.3552	0.240	137	32	1.8	3.31

3.3. Özgül Ağırlık Ölçümleri

Hidrostatik terazi (HB) metodu, üç farklı renklenmeye sahip Türk mor jade örneklerinin analizinde kullanılmıştır. ($SG = W_{\text{hava}} / W_{\text{hava}} - W_{\text{su}}$) formülüne dayanarak elde edilmiş değerler, yoğun mor renkli kısım için 3,05, açık mor ve beyazımsı karışım renginin olduğu kısım için 3,02 ve beyazımsı ve sarımsı renkli kısım için 2,69 olarak ölçülmüştür (Şekil 6). Bu bulgular, yukarıdaki sonuçları destekler, çünkü jadeit üç ana mineral bileşenin en ağır olanıdır ($SG = 3.24-3.42$), kuvars daha hafiftir ($SG = 2.65$) ve ortoz ise en hafif olandır ($SG=2.53-2.56$). Özgül ağırlık değerleri, Türk mor jade'nin bir kaya, minerallerin bir karışımı ve de saf jadeit olmadığını gösterir. Bununla birlikte, malzemenin bazı beyazımsı ve sarımsı kısımları süstaşı olarak kullanıma uygun olmaması nedeniyle, Türk mor jade'nin ortalama özgül ağırlık değeri 3.04'tür. Aslında, bu özgül ağırlık değeri, tüm dünyadaki jadeitten oluşmuş jade'ler için alışılmamış bir değerdir. Aksine, bu değer, nefritten oluşmuş jade'lere daha çok benzerlik gösterir. Literatürde, nefrit jade'lerin özgül ağırlık aralığı 2,90-3.02 olarak verilmiştir. Buna karşın, iyi bilinen jadeit jade'ler, 3.3-3.5 özgül ağırlık aralığına sahiptir[7]. Türk mor jade'sinin tipik özgül ağırlığı, bu nedenle ayırt edici özelliğidir – nefritten biraz daha fazla ve jadeitten çok fazla düşüktür. Bu nedenle, hidrostatik terazi metodu, Türk mor jade'lerinin diğer doğal ve sentetik jade'lerden ayırt edilmesinde, güçlü bir aygıttır.



Şekil 6. Türk mor jade bloğu üzerindeki farklı tonlarda renklenme gösteren kısımların özgül ağırlık (SG) değerleri.

3.4. Kimyasal Bileşenler Ve Konfokal Mikro-Raman Titreşimsel Bandları

Yoğun mor renkli tipik Türk jade örneklerinin kimyasal analizleri, ana oksitler için X-ışını flüoresans (XRF), iz elementler için de indüklenmiş eşleşmiş plazmalı atomik yayılma spektroskopisi (ICP-AES) kullanılarak yapılmıştır ve kimyasal bileşimleri, Çizelge 2'de düzenli bir şekilde verilmiştir.

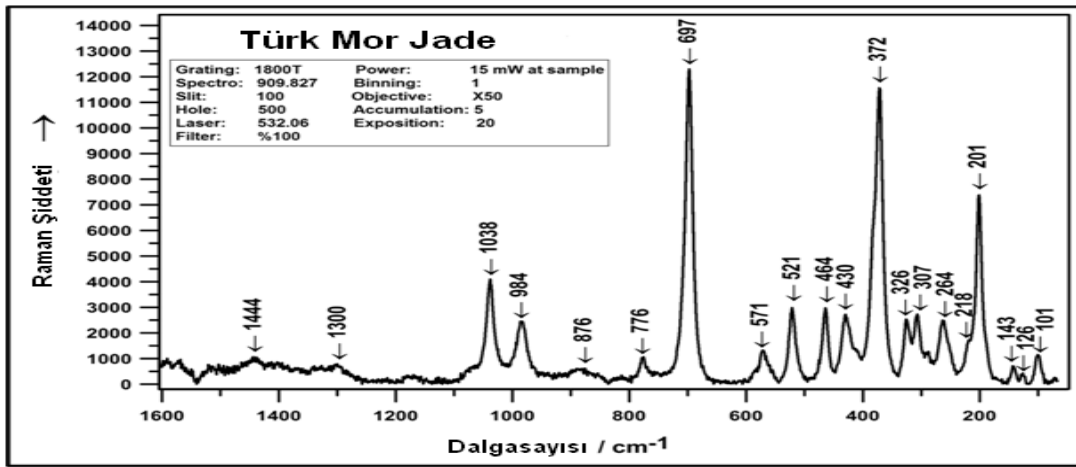
Asidik bir kaya oluşumunu karakterize eden Al, Ca, Na, K, P, Sr ve B gibi bazı kaya yapıcı elementler ve Fe, Cr, Mn, Be, Cu, Ga, La, Ni, Pb ve Zn gibi iz elementler, önemli yüksek oranlarda bulunurlar. Bu yüzden, Türk mor jade'si içindeki kimyasal safsızlıklar, geçiş elementleri olarak Fe (%1.14), Mn (1540 ppm), Be (4.7 ppm), Zn (95 ppm), Ni (49 ppm), Cu (23 ppm), Cr (19 ppm) ve Pb (15 ppm), nadir toprak elementi olarak La (80 ppm) ve metaloid element olarak Ga (40 ppm) önemli konsantrasyonlar gösterir (Çizelge 2).

Buna göre, bu jade'nin soluk mor renklenmesi, bölgedeki mavişist metamorfik fasiyes oluşumu süresince, kütle içindeki önemli miktardaki Al^{+3} iyonlarıyla yer değişen zengin Mn^{+3} iyonlarına bağlayarak yorumlayabiliriz. İlaveten, kimyasal hacim analizlerinin sonucu, Türk mor jade'nin bazı ana elementlerin örneğin, Al, Ca, Na ve K ve aynı zamanda P, Sr ve Ba'nın önemli konsantrasyonlarına sahip olduğunu, göstermektedir. Aslında, bu göreceli yüksek oranlar, asidik karakterli magmatik kayaç oluşumu için önemli göstergeçlerdir. Öte yandan, bu göreceli yüksek oranlar, bu eşsiz malzemenin Na (M2 sitesi içindeki), Al (M1 sitesi içindeki) yada Si'un (tetrahedral sitesi içindeki) kimyasal yer değiştirmelerinin mümkün olduğu ideal-bilinen klinopiroksen bileşimi $[Na(Al,Fe)Si_2O_6]$ gibi bir kimyasal formül ile temsil edilemeyeceği anlamına gelir[3, 7, 27, 28].

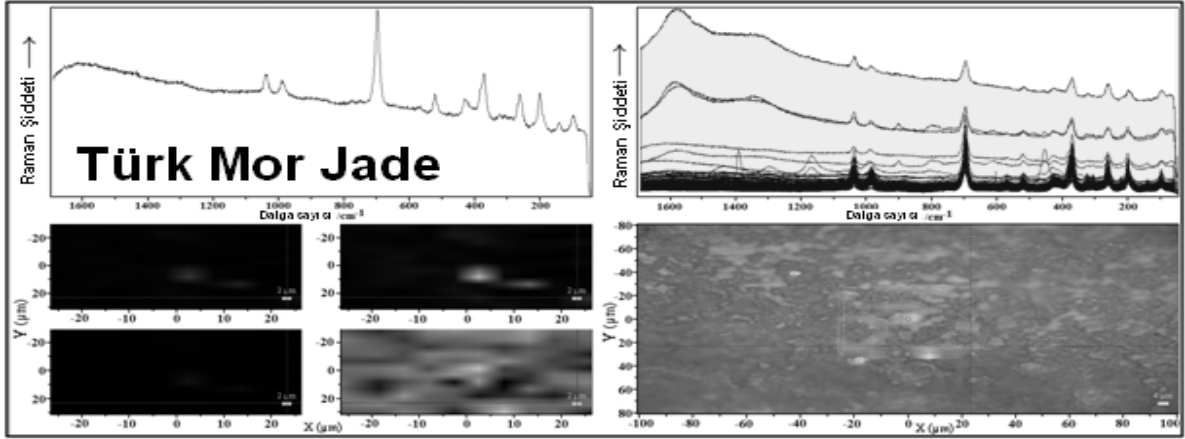
Türk mor jade'nin, 1600 ve 50 cm^{-1} arasındaki titreşim bandlarını içeren, konfokal mikro-Raman grafikleri, esas olarak jadeiti karakterize eden bandları içeren tekli grafik (Şekil 7), bunların haritalanmış çoklu grafikler, ilişkili mikroskop görüntüleri (Şekil 8) ve de bunların kıyaslamalı ve karşılaştırmalı birleştirilmiş grafikleri (Şekil 9) olarak verilmiştir.

Türk mor jade'nin mikro-Raman titreşimsel bandlarının, jadeit-jade'ye veya nefrit-jade'ye ait referanslarda daha önce bildirilmemiş olması açısından önemlidir. Bu nedenle, Türk mor jade'nin toplam 20 karakteristik Raman bandı tespit edilmiştir ve muhtemel sebepleri yorumlanmıştır (Çizelge 3).

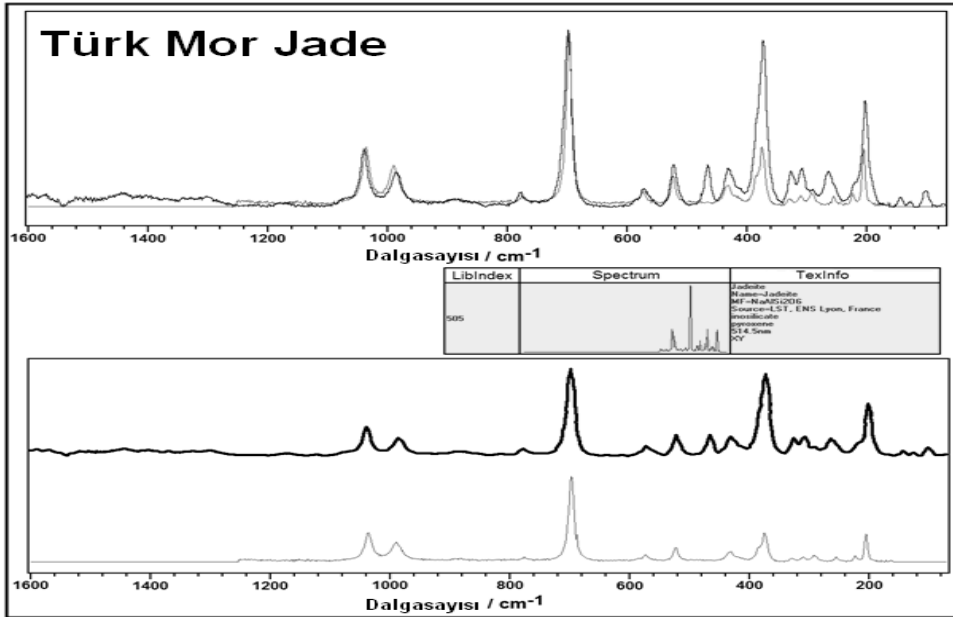
Bu değerler, her ne kadar çok sayıdaki pik tam olarak Türk mor jade'ninkilerle tam olarak eşleşse bile, Zhao ve diğerleri Gendron ve Smith [29], Nestola ve diğerleri [28], Bersani ve Lottici [30] ve Fan ve diğerleri [31] tarafından raporlanan jadeit-jade'lerin diğer renkli türlerinkinden çok daha fazla pik sayısına sahiptir.



Şekil 7. Türk mor jade'nin mikro-Raman titreşimsel bandları.



Şekil 8. Şekil 7'nin haritalanmış çoklu grafik ve ilgili mikroskop görüntüsü.



Şekil 9. Şekil 7'deki Türk mor jade'nin mikro-Raman bantlarının grafiği (siyah çizgili) ile herhangi bir yerin saf jadeitin mikro-Raman bantlarınınkilerle (kırmızı çizgili) karşılaştırması.

Çizelge 2. Harmançık-Bursa bölgesinden Türk mor jade örneklerinin ortalama kimyasal hacim ve iz element analizleri.

Oksitler %	Cihaz (XRF)	Ömek	Elementler	Cihaz (ICP-AES)	Ömek
	Bulma sınırları	Türk Mor Jade		Bulma sınırları	Türk Mor Jade
SiO ₂	0.01 %	63.54			
Al ₂ O ₃	0.01 %	20.17	Al	0.01 %	8.52
Fe ₂ O ₃	0.01 %	1.78	Fe	0.01 %	1.14
CaO	0.01 %	2.70	Ca	0.01 %	1.68
MgO	0.01 %	0.35	Mg	0.01 %	0.18
Na ₂ O	0.01 %	6.71	Na	0.01 %	4.55
K ₂ O	0.01 %	1.74	K	0.01 %	1.34
Cr ₂ O ₃	0.01 %	<0.01	Cr	1 ppm	19
TiO ₂	0.01 %	<0.01	Ti	0.01 ppm	<0.01
MnO	0.01 %	0.22	Mn	5 ppm	1540
P ₂ O ₅	0.001 %	0.048	P	10 ppm	200
SrO	0.01 %	0.03	Sr	1 ppm	227
BaO	0.01 %	<0.01	Ba	10 ppm	80
LOI	0.01 %	2.57			
Total	0.01 %	99.86			
			Ag	0.5 ppm	<0.5
			As	5 ppm	10
			Be	0.5 ppm	4.7
			Bi	2 ppm	<
			Cd	0.5 ppm	<0.5
			Co	1 ppm	1
			Cu	1 ppm	23
			Ga	10 ppm	40
			La	10 ppm	80
			Mo	1 ppm	<1
			Nb	1 ppm	72
			Ni	1 ppm	49
			Pb	2 ppm	15
			S	0.01 ppm	<0.01
			Sb	5 ppm	<5
			Sc	1 ppm	1
			Th	20 ppm	20
			Tl	10 ppm	<10
			U	10 ppm	20
			V	1 ppm	3
			W	10 ppm	<10
			Zn	2 ppm	95

Çizelge 3. Türk mor jade örneğinin konfokal mikro-Raman titreşimsel bantları ve simetri ve SiO₄ tetrahedronunun temel aktivitesine bağlı olarak ortaya çıkan tespitler.

Pik Sayısı	Mikro-Raman Bandları Dalgasayısı / cm ⁻¹	Atfedilen Sebepler
1	1444	Çeşitli öncülere sahip köprü oluşturmayan oksijen çukur merkezleri (örg. peroksi bağlantı) ve oksijen boşluğu
2	1300	Çeşitli öncülere sahip köprü oluşturmayan oksijen çukur merkezleri (örg. peroksi bağlantı) ve oksijen boşluğu
3	1038	[SiO ₄ /M] merkezlerinin v ₁ çiftli simetrik gerilme modları.
4	984	
5	876	[SiO ₄ /M] merkezlerinin bozunmasının v ₂ çiftli simetrik eğilme modları.
6	776	
7	697	[SiO ₄ /M] merkezlerinin v ₂ çiftli simetrik eğilme modu. “M” tarafından ornatılmış Fe, Cr, Mn, Be, Cu, Ni, Pb, Zn, ve aynı zamanda K ve Na gibi bazı katyonik ornatmaları içerir.
8	571	[SiO ₄ /M] merkezlerinin bozunmasının v ₂ dördü simetrik eğilme modları.
9	521	
10	464	
11	430	
12	372	[SiO ₄ /M] merkezlerinin v ₂ tekli simetrik eğilme modu.
13	326	Döngüsel sallantı modu.
14	307	Döngüsel sallantı modu.
15	264	Döngüsel sallantı modu.
16	218	Döngüsel sallantı modu.
17	201	Çevirimsel sallantı modu.
18	143	Çevirimsel sallantı modu..
19	126	Çevirimsel sallantı modu.
20	101	Çevirimsel sallantı modu.

Sonuç olarak, 1444, 1300, 1038, 984, 876, 776, 697, 571, 521, 464, 430, 372, 326, 307, 264, 218, 201, 143, 126 ve 101 cm⁻¹'lerde merkezlenmiş konfokal mikro-Raman bandları, Türk mor jade'sinin karakteristikleridir (Çizelge 3). Altı çizilmiş olanlar çok güçlü bandlardır. Türk mor jade için yapılan tüm mikro-Raman analizlerinin yorumunda, ince taneli malzemenin en az %40'ının jadeit olduğu hesaba katılmak zorundadır (Şekil 3). Ancak kuvars, ortoklas, kloritoid, filogopit, epidot ve opak minerallerin de önemli miktarlarda mevcut olduğu unutulmamalıdır (Şekil 4, 5 ve 7).

Türk mor jade'nin bu deneysel verileri (Çizelge 3) (Şekil 7, 8 ve 9), ayırtaç titreşimsel bandların oluşumu, bir D_{6h} yapısındaki Td simetrisi ve C_{2v} simetrisine sahip SiO₄ tetrahedronunun simetrisine ve ana hareketliliğine bağlı olarak, bazı kimyasal safsızlıklar (dış kusurlar) ve yapısal kusurlara (iç kusurlar) yorulabilen kafes hataları ile kesinlikle ilişkilidir[32]. Granitik kayalar içinde, yeşil-ve beyaz-renkli jadeit-jade oluşumu nadir bir olaydır[30]. Buna rağmen, mor-renkli jade oluşumu, daha da nadirdir. Bu nedenle, granitler ve benzeri ana kayalar, tipik tekli-jadeit kristalizasyonunu [Na(Al,Fe)Si₂O₆] oluşturmak için, magmatizma sonrası ve ana kaya akışkanları tarafından yoğun tekrar kristalleşmeyi sonuçlayan, Na, Al, Fe ve nadir elementlerde

zenginleşme ve birincil muskovit ve sodik-kireçli klinopiroksenlerin (örn: diyopsit) yer değiştirmesi ile şiddetli biçimde yeniden biçimlendirilmiştir[28, 33, 34].

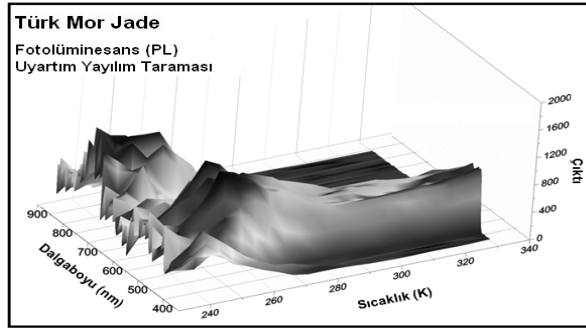
Diğer taraftan, Fe, Cr, Mn, Be, Cu, Nb, Ni, Pb ve Zn gibi bazı geçiş metal elementlerini, Ga gibi metaloid elementi ve La gibi nadir-toprak elementi gösteren kimyasal iz element analizinin sonuçları, bileşimsel iz elementlerin daha yüksek varlığının Türk mor jade'nin en önemli karakteristiklerinden biri olduğunu göstermektedir. Bunlardan bazıları, eşsiz mor rengin oluşumunda, dış kafes hataları olarak kesinlikle sorumludurlar.

Daha önceki makalelerde[8] belirtildiği gibi, jadeit-jade'lerin tüm türlerinin renkleri, safsızlık elementlerinin mevcudiyetinden kaynaklanır. Örneğin, demir ve/veya kromun varlığı, minerale yeşil renk aşılar[35]. Mangan, lavanta rengi sağlar[31, 36, 37]. Buna rağmen, Türk jade'sinin eşsiz mor renklenmesi, daha karışık bir mekanizma yüzündendir, çünkü birçok geçiş metal renklenme ajanları bunun içinde mevcuttur. Mor renk oluşumunun açıklığa kavuşturulması için, ilave incelemeler gerekli olacaktır.

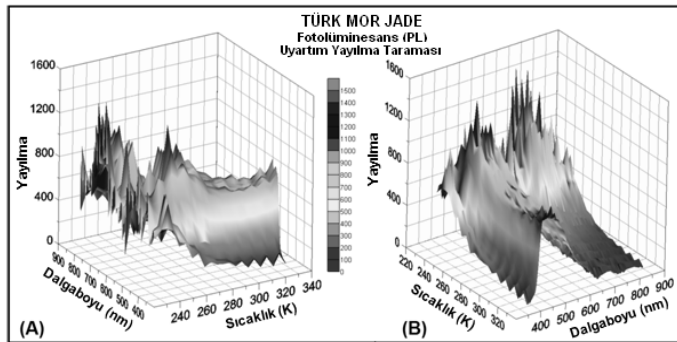
3.5. Lüminesans Özellikleri

3.5.1. Fotolüminesans (PL)

Türk mor jade'sinin fotolüminesans (PL) uyartım yayılım taramaları, malzeme parametrelerinin çeşidini karakterize etmek için ilk defa üç boyutlu olarak elde edilmiştir ve Şekil 10 ve 11'de verilmiştir.



Şekil 10. Türk mor jade'sinin fotolüminesans (PL-3D) morfolojisi.



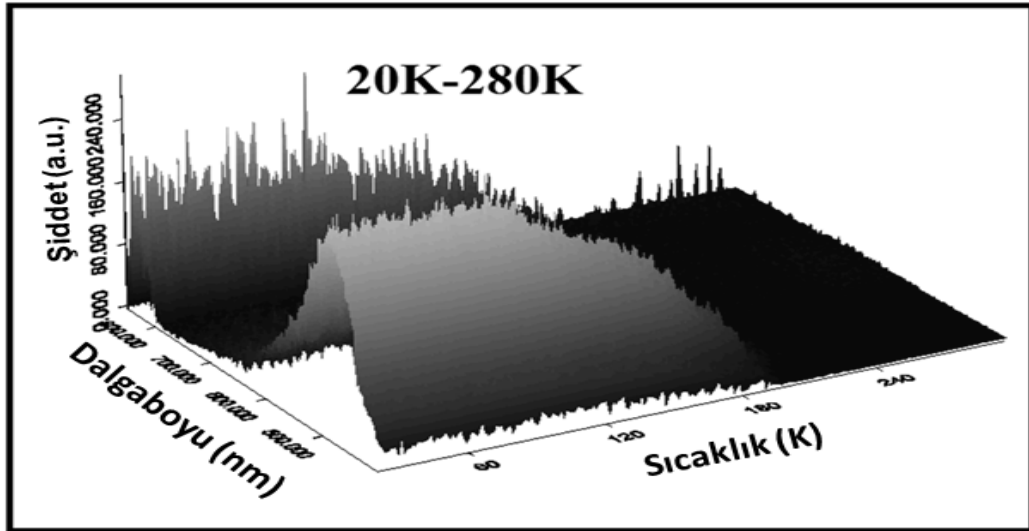
Şekil 11. Mor jade'nin fotolüminesans (PL-3D) uyartım yayılım taramalarının iki farklı görünüşü [ön taraftan (A) ve arka taraftan (B)].

Aslında, diğer tür lüminesanslar gibi, fotolüminesansa (PL) sebep olan, kimyasal safsızlıklar ve yapısal bozukluklar gibi kafes kusurlarıdır [38, 39, 40, 41]. Dolayısıyla, uyarılma yayılma taramaları sonunda belirmiş olan özgün fotolüminesans PL bandlarını, Türk mor jade örneklerinin, başlıca jadeit, kuvars, ortoklas, epidot, kloritoid ve filogopit minerallerinden oluşan heterojen yapısından kaynaklanan kusurlarla ilişkilendirmek mümkündür. Ancak, tek jadeit minerali içeren örnekler üzerinde yapılmış bir EPR çalışmasında, yutulma miktarına bağlı olarak artan sinyallerin kaynağının, elektron merkezleri olduğu belirtilmiştir [13]. Bu nedenle, heterojen yapıya bağlı bu kusurların çoğunun, katyonik merkezlerden geldiğini ileri sürebiliriz.

Diğer taraftan, heterojen yapıli mor jade'lerin yüzey ve ara yüz kalitesiyle ilgili bilgi edinme konusunda, okunabilir PL sinyallerinin şiddetinin, kırmızı, yeşil ve mor bölgelerde değil, turuncu-sarı, mavi ve menekşe bölgelerde arttığı ortaya çıkmıştır. Dolayısıyla, güçlü PL-3D morfolojisini (Şekil 10 ve 11) üreten elektron merkezlerindeki yapısal bozuklukların, ara renk bölgelerinde (turuncu-sarı-mavi-menekşe) ana renk bölgelerine (kırmızı-yeşil-mor) göre daha etkili olduğunu savunabiliriz.

3.5.2. Radyolüminesans (RL)

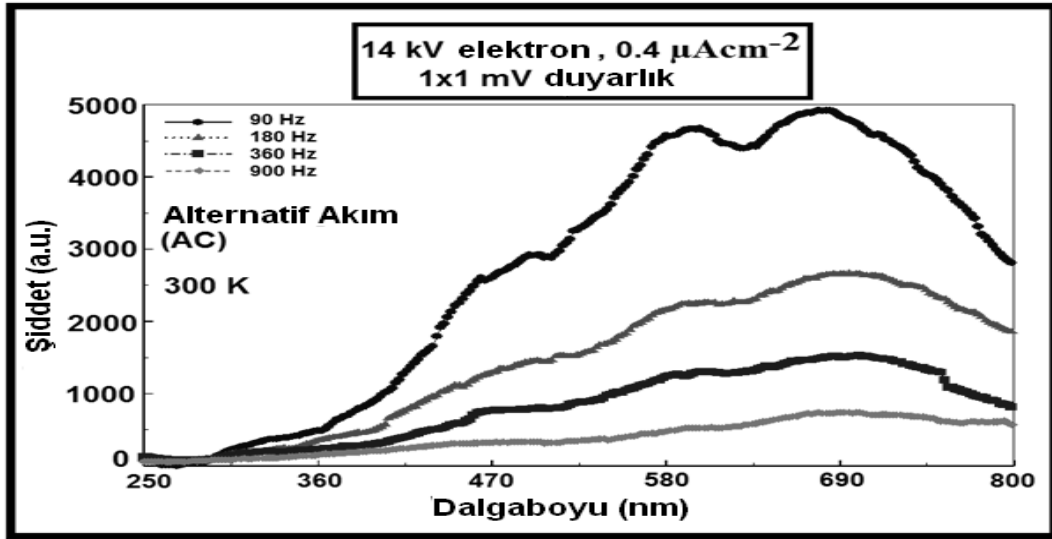
Türk mor jade'sine ait radyolüminesans (RL) tayfı, üç boyutlu (3D) olarak Şekil 12'de sunulmuştur. X-ışını uyarısıyla elde edilen RL tayfının, ısıtma ile karşılaştırıldığında, heterojen yapıdaki mor jade malzemesindeki kusurların çalışılmasında, daha hassas bir teknik olduğunu düşündük. Bu analiz süresince, X-radyasyonu tüm jade malzemesi hacminin içine işleyerek uyarılmış hale getirirken, yeni lüminesans kusurları oluşturmuştur [40]. Bunun yanında, en uygun metotlardan biri, RL ışığının yüksek hassasiyetli dalgaboyu çok katlı TL sistemi ile saptanmasıdır [42].



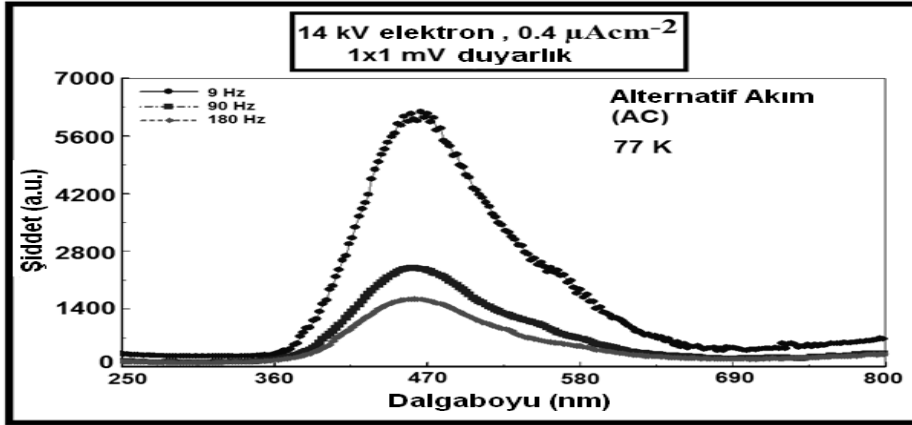
Şekil 12. Türk mor jade'sinin radyolüminesans (RL-3D) morfolojisi. En yüksek pikler, görünür ve kızılötesi yakınındaki bölgelerde (400-900 nm), sırasıyla 550, 650 ve 850 nm civarında ölçülmüştür [Tuncer-Arslanlar ve ark.'dan [21] uyarlanarak alınmıştır].

3.5.3. Katodoluminesans (CL)

Oda sıcaklığında katodoluminesans (CL) sonuçları, 14 keV enerjili alternatif akım (AC), (300 ve 77 K sıcaklık derecelerinde) ölçümleri kullanılarak elde edilmiş ve Şekil 13 ve 14’de sunulmuştur. Buna göre CL yayılımlarıyla bazı geçiş metal elementlerinin varlığı arasında bir bağlantı olduğu gözlemlenebilir. Farklı uyarılma frekans ayarları kullanıldığında, CL bantlarının yoğunluklarındaki görece değişiklikler gözlemlenebilir. Ancak, açıktır ki, her geçiş elementi bu konuda doğrudan rol oynamaz. Gaussian katodoluminesans, AC 14 keV enerji ve 300 K sıcaklık derecesinde ve 90, 180, 360 ve 900 Hz frekanslarda elde edilmiş deneysel verisinin uygunluğu, 90 Hz’de ve görünür dalgaboyu bölgesinin ortasında (sarı bölge), 610 nm civarında ve uzun-görülebilir dalgaboyu bölgesinde (turuncu*kırmızı bölge), yaklaşık 670 nm.’de olmak üzere, okunabilir yoğunluk ve miktarda iki ana grafiği yayılım bandının ortaya çıktığını ortaya koyar (Şekil 13). Öte yandan, katodoluminesans, AC 14 keV enerji ve 77 K sıcaklık derecesinde ve 9, 90 ve 180 Hz frekanslarda elde edilmiş deneysel verisinin Gaussian yoğunluğu, 9 Hz’de ve kısa-görünür dalgaboyu bölgesinde (mavi bölge), yaklaşık 470 nm’de olmak üzere, okunabilir yoğunluk ve miktarda bir ana grafik yayılım bandı belirlediğini ortaya koyar (Şekil 14).



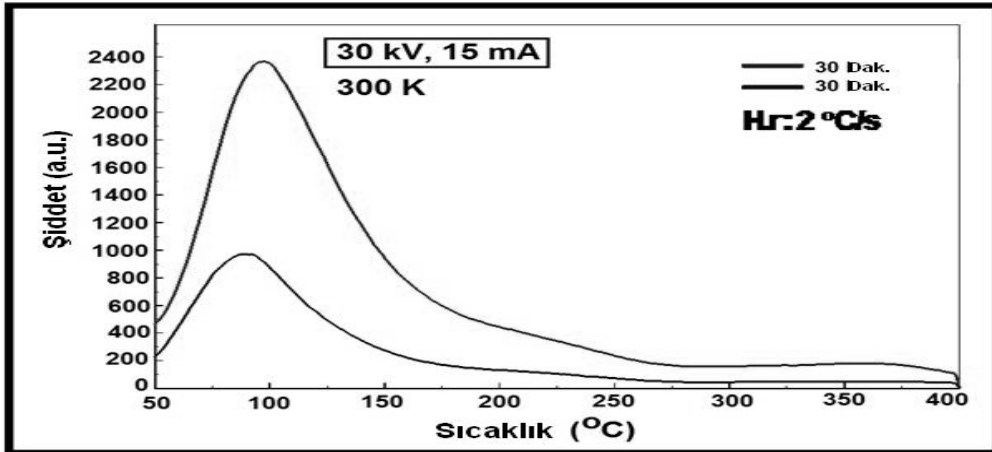
Şekil 13. Türk mor jade’sinin 300 K’daki katodoluminesans (CL) grafikleri. [Tuncer-Arslanlar ve ark. (2011)’dan uyarlanarak alınmıştır].



Şekil 14. Türk mor jade'sinin 77 K'daki katodoluminesans (CL) grafikleri. [Tuncer-Arslanlar ve ark. (2011)'dan uyarlanarak alınmıştır].

3.5.4. Termoluminesans (TL)

300 K'da, N₂ atmosferi ortamında, 2 Cs⁻¹'lik bir doğrusal ısıtma oranının bir sonucu olarak elde edilen termoluminesans kızdırma eğrileri, radyasyon dozlarının ölçülmesinde kullanılmış olan Türk mor jade'sinin yararının kapsamını karakterize etmek için büyük bir öneme sahiptir (Şekil 15). Buna göre, grafik üzerindeki ana kızdırma eğrilerinin, eğriler 10 dakikalık ısıtma sonunda yaklaşık 95 °C'de, ve 30 dakikalık ısıtma sonunda yaklaşık 110 °C'de piklenmiş en geniş ve en yüksek bandlar olarak ortaya çıktığı, görülmektedir. Türkiye'den çıkartılan mor renkli jade'nin kızdırma eğrisi, Melo ve diğerleri tarafından bildirilen [43], dünyadaki diğer ülkelerden çıkartılan yeşil ve/veya beyazımsı renkli jade'lerden oldukça farklı olduğunu ifade edebiliriz. Bu farklılık, Harmancık-Bursa bölgesindeki kontak metamorfik halenin oluşum koşullarına yorulabilir.



Şekil 15. Türk mor jade örneğinin termoluminesans (TL) kızdırma eğrileri. [Tuncer-Arslanlar ve ark. (2011)'dan uyarlanarak alınmıştır].

4. SONUÇLAR

Bu çalışma, Harmancık-Bursa bölgesinde oluşmuş mor jade'nin tanımlanması, bileşimi, kökeni ve oluş şeklinin değerlendirilmesi üzerine odaklanmıştır. Türk mor jade örnekleri, kütleli-yapılı ince kristalin kütleler olarak bulunmaktadır. Bu nedenle, opak bir görünüme ve genellikle soluk mor renge sahiptirler. Bu kütlelerin ana mineral içeriğinin, bir polarizan mikroskop altında klasik petrografik teknik ile tahrip edici olarak ve saçınımsal konfokal mikro-Raman spektroskopisi ile tahripatsız olarak tanımlandığında, görülmektedir ki bu kontak metamorfik hale (kuşak) kütlelerinin temel yapıcı bileşenleri ancak konfokal mikro-Raman spektroskopu kullanılarak tahribatsız bir şekilde tespit edilmektedir. Saçınımsal (görünür bölge) konfokal mikro-Raman spektroskopisinin (DCµRS) bir uygulaması, karakterizasyon ve oluşum kökeni için doğal bir metamorfik zonu ortaya çıkarmak için yapılmıştır. Konfokal mikro-Raman spektrometresi ve hidrostatik terazi, doğal mor jade'lerin diğer renkli doğal ve yapay jade'lerden ayırt etmek için ve coğrafik bölgeyle ilişkili kökenlerini tanımlamak için en doğru, tahripatsız ve zarar vermeyen aletlerdir. Bu yüzden, konfokal mikro-Raman spektroskopisinin, gemoloji sahasında çok daha fazla rol oynayabileceği ifade edilebilir. Saçınımsal konfokal mikro-Raman spektroskopisi (DCµRS), Türk mor jade'sine uygulanmış ve titreşimsel bandların olası nedenleri, ICP-AES analizi referansıyla bazı kristal hatalara (safsızlıklar ve kusurlar) bağlanmıştır. Bazı kayaç yapıcı elementler örg. Al, Ca, Na, K, P, Sr ve B ve bazı iz elementler örg. Fe, Cr, Mn, Be, Cu, Ga, La, Ni, Pb ve Zn dikkat çekici oranlarda bulunmuştur. Bu titreşim bandları, esas olarak alkali silikattaki Si-O bağlarının iyonik karakterindeki artış göz önüne alınarak, iz elementlerinin varlığıyla oluşmuş elektron yoğunluğunun artmasıyla, tetrahedral karakterin yükselmesine bağlı olan dış kusurlara (kimyasal safsızlıklar), kısmen de iç kusurlara (birkaç öncüler ve kendiliğinden kapanlanmış uyartıma sahip bağlanmamış oksijen eksik merkezleri), atfedilebilir. Bunlar, bölgedeki kontak metamorfik hale (kuşak) yayılımından türemiş dış kusurlara (kimyasal safsızlıklar) bağlanabilen [SiO₄/M] merkezlerindeki Fe, Cr, Mn, Be, Cu, Nb, Ni, Pb ve Zn gibi bazı geçiş metal elementlerinin göreceli daha yüksek konsantrasyonlarının varlığına büyük ölçüde dayandırılır. Aynı zamanda, bu jade'nin soluk mor renklenmesi, bölgedeki mavişist metamorfik fasiyes oluşumu süresince kütle içindeki zengin miktardaki Mn⁺³ iyonların, bol yer kaplayan Al⁺³ iyonlarının yerini alması yüzünden olduğunu, açıklayabiliriz.

İki geniş ana fotoluminesans (PL) bandı gözlemlenmiştir. Birincisi, düşük sıcaklıklarda ve sadece turuncu-sarı bölge içinde ortaya çıkar. Bunun en büyük pikleri esas olarak 743, 717 ve 698 nm civarlarında izlenmektedir. Daha yüksek sıcaklıklarda, bu ilk geniş bandın gücü azalmıştır. İkincisi, düşük sıcaklıklarda görülmüş ve daha yüksek sıcaklıklara kadar devam etmiştir. Bu ikinci geniş band, mavi ve menekşe bölgeleri kapsar, ve en yüksek pikleri başlıca, 484, 465 ve 442 nm civarlarında izlenmektedir. Güçlü PL-3D morfoloji üreten elektron merkezlerinin yapısal bozuklukları, ara renk (turuncu-sarı-mavi-menekşe) bölgelerde, temel renk (kırmızı-yeşil-mor) bölgelerinden daha etkili hale olduğu, belirtilebilir. Üç dikkat çekici radyoluminesans (RL) bandı gözlenmiştir. Görünür ve yakın kızılötesi bölgelerdeki (400-900 nm.) en yüksek pikler, sırasıyla 550, 650 ve 850 nm civarlarında ölçülmüştür. Katodoluminesans (CL) sonuçları, orijinal grafiksel yapıları gösterir. 300 K'da iki önemli saçınımsal emisyon bandı, yaklaşık 610 nm civarındaki orta-görünür dalgaboyu (sarı bölge) bölgesinde ve yaklaşık 670 nm civarındaki daha uzun-görünür dalgaboyu (turuncu-kırmızı bölge) bölgesinde, 90 Hz'de dikkate değer şiddette ve büyüklükte görünür. Ek olarak, 77 K'da bir ana saçınımsal yayılma bandı, yaklaşık 470 nm'deki daha kısa-görünür dalgaboyu (mavi bölge) bölgesinde, 9 Hz'de dikkate değer şiddette ve büyüklükte görünür. Temel termoluminesans (TL) kızdırma eğrileri, 10 dakikalık ısıtma sonunda yaklaşık 95 °C'de, ve 30 dakikalık ısıtma sonunda yaklaşık 110 °C'de piklenmiş en geniş ve en yüksek bandlar, gözlemlenmiştir. Türk mor jade'sinin bu kızdırma eğrileri, dünyadaki diğer bölgelerden gelen yeşil ve/veya beyazımsı renkli jade'lerden, açıkça farklıdır. Bu farklılık, bölgedeki kontak metamorfik halenin (dilimin) oluşum koşullarına atfedilebilir ve Türk mor jade'leri için karakteristik köken tanımlayıcı metotlardan biri olarak kullanılabilir.

KAYNAKÇA

- [1] D. Crowhurst, "Jade is jade", *Colored Stone*, 14, 112-113(2001).
- [2] Easby, E. K., 1991. "Jade in South America and the Caribbean", in R. Keverne (ed.) *Jade New York: Van Nostrand Reinhold*, 338-341.
- [3] C.T. Prewitt ve C.W. Burnham, "The crystal structure of jadeite, $\text{NaAlSi}_2\text{O}_6$ ", *American Mineralogist*, 51, 956-975(1966).
- [4] M. Cameron ve J.J. Papike, "Structural and chemical variations in pyroxenes", *American Mineralogist*, 66, 1-50(1981).
- [5] N. Morimoto, "Nomenclature of pyroxenes", *American Mineralogist*. 73, 1123-1133(1988).
- [6] N. Morimoto, "Nomenclature of pyroxenes". *The Canadian Mineralogist*, 27, 143-156(1989).
- [7] W. Htein ve A.M. Naing, "Mineral and chemical compositions of jadeite jade of Myanmar", *Journal of Gemmology*, 24, 269-276(1994).
- [8] H. Harder, "Trace elements as colouring agents in jadeites", *The Journal of Gemmology*, 24, 508-511(1995).
- [9] C. Bishop, A. Woolley, I. Kinnes and R. Harrison, "Jadeite axes in Europe and the British Isles: An interim study", *Archaeologica Atlantica*, 2, 1-8(1977).
- [10] G.G. Biino ve R. Compagnoni, "Very-high pressure metamorphism of the Brossasco coronite metagranite, southern Dora Maira Massif, Western Alps", *Schweiz Mineral. Petrogr. Mitt.*, 72, 347-363(1992).
- [11] I. Adamo, A. Pavese, L. Prosperi, V. Diella, D. Ajò, M. Dapiaggi, C. Mora, F. Manavella, F. Salusso ve V. Giuliano, "Characterization of omphacite jade from the Po Valley, Piedmont, Italy", *Journal of Gemmology*, 30, 215-226, (2006).
- [12] Harlow, G.E., Sorensen, S.S., Sisson, V.B., 2007. Jade. In: *The Geology of Gem Deposits* (ed., Lee A. Groat), *Short Course Handbook Series 37*, Mineralogical Association of Canada, Quebec, 207-254.
- [13] M.I. Teixeira, A.P. Melo, G.M. Ferraz ve L.V.E. Caldas, "Application of jade samples for high dose dosimetry using the EPR technique", *Applied Radiation and Isotopes*. 68, 582-585(2010).
- [14] A.I. Okay, "Mineralogy, petrology and phase relations of glaucophane-lawsonite zone blueschists from the Tavşanlı region, northwest Turkey", *Contribution to Mineralogy and Petrology*, 72, 243-255(1980).
- [15] A.I. Okay, "Distribution and characteristics of the northwest Turkish blueschists. In: A.H.F. Robertson and J.E. Dixon (eds.) *The Geological Evolution of the Eastern Mediterranean*, Geological Society of London, Special Publication, 17, 455-466(1984).

- [16] A.I. Okay, “Jadeite-K-feldspar rocks and jadeitites from northwest Turkey”, *Mineralogical Magazine*, 61, 835-843(1997).
- [17] A.I. Okay, “Jadeite–chloritoid–glaucophane–lawsonite blueschists in northwest Turkey: unusually high P/T ratios in continental crust”, *Journal of Metamorphic Geology*, 20, 757-768(2002).
- [18] A.I. Okay ve S.P. Kelley, “Tectonic setting, petrology and geochronology of jadeite +glaucophane and chloritoid +glaucophane schists from northwest Turkey”, *Journal of Metamorphic Geology*, 12, 455–466(1994).
- [19] A.I. Okay, N.B.W. Harris ve S. Kelley, “Blueschist exhumation along a Tethyan suture in northwest Turkey”, *Tectonophysics*, 285, 275–299(1998).
- [20] M. Hatipoğlu, “Response to jadeite from Turkey”, *Rocks & Minerals*, 85, 301-301(2010).
- [21] Y. Tuncer-Arslanlar, J. Garcia-Guinea, R. Kibar, A. Çetin, M. Ayvacıklı ve N. Can, “Luminescence behaviour and Raman characterization of jade from Turkey”, *Applied Radiation Isotopes*, 69, 1299-1306(2011).
- [22] A.M.C. Şengör ve Y. Yılmaz, “Tethyan evolution of Turkey: a plate tectonic approach”, *Tectonophysics*, 75, 181-241(1981).
- [23] E. Bingöl, M. Delaloye ve G. Ataman, “Granitic intrusions in western Anatolia: a contribution to the geodynamic study of this area”, *Eclogae Geologicae Helveticae*, 75, 437-446(1982).
- [24] O. Kaya, O. Özkoçak ve A. Lisenbee, “Jura öncesi bloklu tortul kayaların stratigrafisi, Bursa güneyi”, *Bulletin of MTA (Turkey)*, 109, 22-32(1989).
- [25] I.Ö. Yılmaz, D. Altın, U.K. Tekin, O. Tüysüz, F. Ocakoğlu ve S. Açıkalm, “Cenomanian–Turonian Oceanic Anoxic Event (OAE2) in the Sakarya Zone, northwestern Turkey: Sedimentological, cyclostratigraphic, and geochemical records”, *Cretaceous Record*, 31, 207-226(2010).
- [26] S. Sherlock, S.P. Kelley, S. Inger, N. Harris ve A.I. Okay, “⁴⁰Ar–³⁹Ar and Rb–Sr geochronology of high-pressure metamorphism and exhumation history of the Tavşanlı Zone, NW Turkey”, *Contributions to Mineralogy and Petrology*, 137, 46–58(1999).
- [27] Th. Zhao, X.W. Yan ve J. Cui, “The physical and chemical properties of synthetic and natural jadeite for jewellery”, *Journal of Material Sciences*, 29, 1514–1520(1994).
- [28] F. Nestola, M. Tribaudino, T.B. Ballaran, C. Liebske ve M. Bruno, “The crystal structures of pyroxenes along the jadeite-hedenbergite and jadeite-aegirine joins”, *American Mineralogist*, 92, 1492-1501(2007).
- [29] Gendron, G., Smith, D.C., Gendron-Bdou, A. Discovery of Jadeite-Jade in Guatemala confirmed by non-destructive Raman microscopy. *Journal of Archaeological Science*, 29, 837–851, (2002).

- [30] D. Bersani ve P.P. Lottici, “Application of Raman spectroscopy to gemology”, *Analytical and Bioanalytical Chemistry*, 397, 2631-2646, (2008).
- [31] J.L. Fan, S.G. Guo ve X.L. Liu, “The Application of confocal micro-Raman spectrometer to nondestructive identification of filled gemstones”, *Spectroscopy Letters*, 42, 129-135, (2009).
- [32] Colomban, P., Prinsloo, L., Optical spectroscopy of silicates and glasses. In: Yatwood, J, Douthwaite R, Duckett S. (eds) *Spectroscopic Properties of Inorganic and Organometallic Chemistry*, RSC publishing, 40, 128-149, (2009).
- [33] G. Rossi, D.C. Smith, L. Ungaretti ve M.C. Domeneghetti, “Crystal-chemistry and cation ordering in the system diopside-jadeite: a detailed study by crystal structure refinement”, *Contributions to Mineralogy and Petrology*, 83, 247-258, (1983).
- [34] E. Brizi ve M. Mellini, “Kinetic modelling of exsolution textures in igneous pyroxenes”, *Acta Vulcanologica*, 2, 87-93(1992).
- [35] G.R. Rossman, “Lavender jade: The optical spectrum of Fe^{3+} and $Fe^{2+}-Fe^{3+}$ inter-valence charge transfer in jadeite from Burma”, *American Mineralogist*, 59, 868–870(1974).
- [36] K. Nassau ve J.E. Shigley, “A study of the general electric synthetic jadeite”, *Gems & Gemology*, 23, 27-35(1987).
- [37] J.L. Fan, S.G. Guo ve X.L. Liu, “Application of Raman spectrometer (785 nm) to jadeite test” (in Chine with English abstract), <http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/18306795>, (2007).
- [38] G. Blasse ve B.C. Grabmaier, “*Luminescent Materials*”, Springer–Verlag, 232, (1994).
- [39] Gfroerer, T.H., Photoluminescence in analysis of surfaces and interfaces. In *Encyclopaedia of Analytical Chemistry*, R.A. Meyers (Ed.), John Wiley & Sons Ltd, Chichester, 9209–9231, (2000).
- [40] M. Gaft, R. Reisfeld ve G. Panczer, “*Luminescence Spectroscopy of Minerals and Materials*, 1^{ed.}”, Springer, Berlin, 456(2005).
- [41] B. Handerson ve G.F.Imbusch, “*Optical Spectroscopy*”, Oxford University Press, 672(2006).
- [42] B.J. Luff ve P.D. Townsend, “High sensitivity thermoluminescence spectrometer”, *Measurement Science and Technology*, 4, 65-71(1993).
- [43] A.P. Melo, M.E.G. Valerio ve L.V.E. Caldas, “Thermoluminescence characteristics of mineral samples acquired as jade”, *Nuclear Instruments and Methods in Physics Research Section B*, 218, 198-201(2004).