

ATOMİK FLORESANS SPEKTROSKOPİSİ

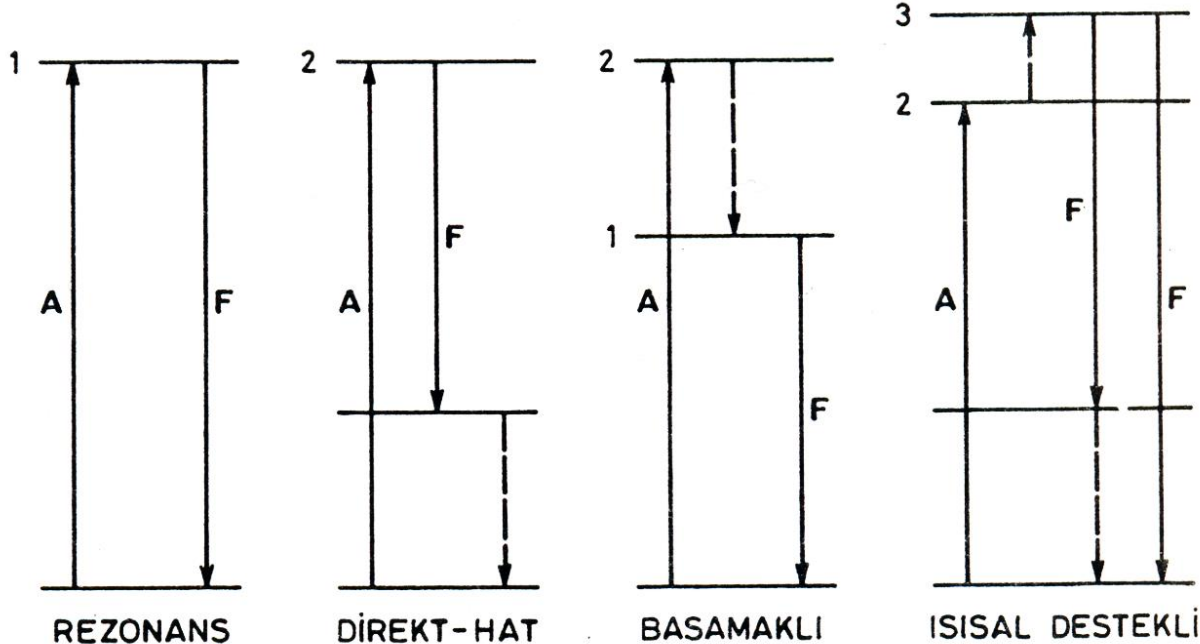
Teorik temeller

Cihaz bileşenleri

Avantaj ve dezavantajları

Atomik Floresans Spektroskopisi

Çalışma İlkesi: Atomların uyarılması kesikli veya sürekli bir ışık kaynağından yayılan ışımının absorplanması ile gerçekleşiyorsa uyarılmış enerji düzeyine çıkan atomların temel enerji düzeyine dönerken yaydıkları ışımının ölçülmesi ilkesine dayanan yöntem *atomik floresans spektroskopisi (AFS)* adı verilir. Atomik floresansın dört önemli türü aşağıda görülmektedir :



6.08

— 6

— 5

— 4

— 3

— 2

— 4

— 0

 $n = 4$

Continuum of Ionized States

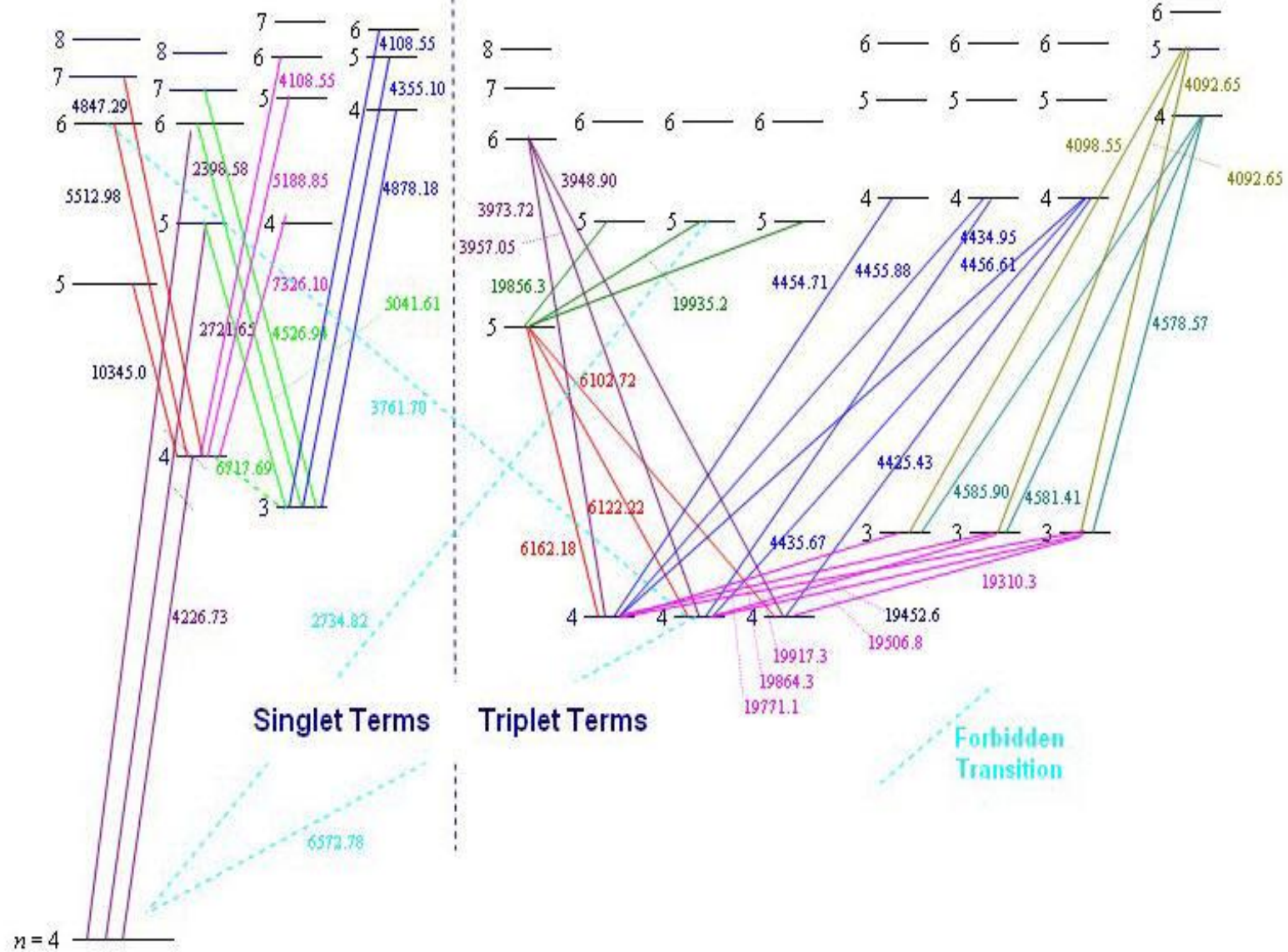
 cm^{-1}

12,500-

25,000-

37,500-

50,000-



Kalsiyum için enerji seviye diyagramı

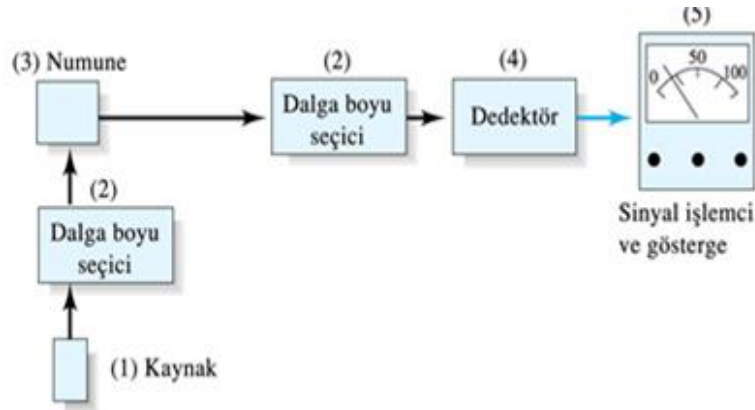
Yayılan ışımının absorplanan ışımaya ile aynı dalgalıboyunda olduğu floresans türüne **rezonans floresans** denir ve atomik floresans spektroskopisi yönteminde nicel analiz için genellikle bu floresans türü kullanılır.

Direkt hat floresansı; uyarılmış enerji düzeyindeki atomun ışımaya yaparak ilk uyarıldığı enerji düzeyinden daha yüksek enerjili bir düzeyeye dönmesi sonucunda oluşur. Bu durumda, yayılan floresans ışımının dalgalıboyu, absorplanan ışımının dalgalıboyundan daha büyüktür. Floresansın bu türüne **Stokes floresansı** adı verilir. Atomun temel düzeyeye dönüşü, başka bir fotonun yayılması veya ışımasız bir prosesle gerçekleşir.

Basamaklı floresans türünde, uyarılmış enerji düzeyindeki atomun, ışımasız yoldan daha düşük bir enerji düzeyine geçişi ve bu düzeyden temel düzeyeye dönerken yaydığı floresans ışımısı söz konusudur. Basamaklı floresans da bir Stokes floresansı türüdür.

Bazı durumlarda uyarılmış enerji düzeyine çıkarılan atom, yüksek enerjili taneciklerle yaptığı çarpışmalarla, daha yüksek enerjili bir uyarılmış düzeyeye çıkabilir. Floresans ışımısı atomun ya bu uyarılmış düzeyden temel düzeyeye, ya da temel düzeyin üstünde bir enerji düzeyine dönmesi sırasında yayılır. Her iki durumda da yayılan ışımaya **ısısal destekli floresans** adı verilir. Yayılan ışımının dalgalıboyu, atomun döndüğü enerji düzeyine bağılı olarak absorplanan ışımının dalgalıboyundan büyük veya küçük olabilir. Yayılan ışımının, absorplanan ışımadan daha küçük dalgalıboyunda olması, **anti-Stokes floresans** türüdür.

Atomik Floresans Spektrofotometresi



Floresans ölçme tasarımı. Burada, uyarma ve emisyon dalga boyları için iki ayrı dalga boyu seçici gereklidir. Kaynaktan gelen ışın dalga boyu seçiciden geçirildikten sonra numune üzerine gönderilir ve yayılan ışın saçılan ışınların etkisini önlemek için genelde gelen ışına dik doğrultuda ölçülür.

Bu yöntemde, yayılan floresans ışımalarının şiddeti uyarmayı sağlayan ışık kaynağına dik bir açıda ölçülür. Bunun nedeni, yayılan rezonans floresans ışımalarının ışık kaynağının ışması ile aynı dalgaboyunda oluşudur.

Floresans sinyalinin ısısal olarak oluşan emisyon hatlarından ayrılmasını sağlamak için, ışık örneğe bir ışık bölücü yardımı ile belirli bir frekansta gönderilir ve dedektör bu frekansa cevap verecek şekilde ayarlanır.

Atomik floresans spektroskopisinde hem sürekli (Xe lambası), hem de hat spektrumu (OKL) yayan ışık kaynakları kullanılabilir.

Sürekli ışık kaynağının kullanılması durumunda, monokromatör önem kazanır ve büyük ayırma gücüne sahip olmalıdır.

Analitik Uygulamalar

Atomik floresans spektroskopisi ile nicel analiz, genellikle kalibrasyon doğrusu oluşturularak gerçekleştirilir. Rezonans floresans türünün kullanılması ile analizi yapılabilen çeşitli elementler ve analizin yapıldığı dalgaboyu değerleri, Tabloda verilmiştir.

Tablo . Rezonans floresans ile analizi yapılan çeşitli elementler ve dalgaboyu degerleri.

Element	Dalgaboyu, nm	Element	Dalgaboyu, nm
Ag	328.1	Mg	285.2
As	193.7	Mn	279.5
Au	249.7	Mo	313.3
Be	234.0	Na	589.0
Bi	302.5	Ni	232.0
Ca	422.7	Rh	369.2
Co	240.7.	Sb	217.6
Cr	357.9	Se	196.0
Cu	324.8	Sr	460.7
Fe	248.3	Te	214.3
Ge	265.2	Tl	377.6
Hg	253.7	Zn	213.9

Atomik floresans spektroskopisi yönteminin bazı elementler için atomik absorpsiyon ve atomik emisyon spektroskopisi yöntemleri ile rekabet edebilecek duyarlıktadır.

Ayrıca bu yöntemin önemli bir üstünlüğü ı ışık kaynağının şiddetinin arttırılması ile duyarlığın arttırılabilmesidir.

Bu yöntem de atomik emisyon spektroskopisi yöntemi gibi çok elementli analizin gerçekleştirile-bildiği bir yöntemdir.

Çeşitli elementler için GFAAS, ICP AES ve AFS yöntemleri ile elde edilebilen gözlenebilme sınırları. µg/L .

Element	GFAAS	ICP AES	AFS
Ag	0.005	4	0.1
Al	0.01	0.08	5
As	0.2	2	100
Au	0.1	40	50
B	15	4	
Ba	0.04	0.01	
Be	0.03	0.003	
Bi	0.1	50	50
Ca	0.05	0.0001	0.001
Cd	0.003	0.2	0.01
Co	0.02	3	5
Cr	0.01	0.8	-
Cu	0.02	3	1
Fe	0.02	0.09	8
Hg	2	10	
K	0.002		
Li	0.2		
Mg	0.004	0.003	1
Mn	0.01	0.02	2
Mo	0.02	3	
Na	0.01	0.02	
Ni	0.2	0.1	3
Pb	0.05	1	10
Si	0.1	10	
V	0.2	0.06	
Zn	0.001	0.01	0.02

Girişimler

- Atomik floresans spektroskopisi yönteminde karşılaşılan kimyasal ve iyonlaşma girişimleri, atomik absorpsiyon spektroskopisi yöntemindeki girişimlerle tamamen aynıdır. Fakat özellikle sürekli ışık kaynağının kullanıldığı uygulamalarda spektral engellemelerle çok daha sık karşılaşılır.
- Atomlaştırıcı hücre içindeki parçacıkların neden olduğu ışık saçılması, atomik floresans yönteminde karşılaşılan en önemli girişim türüdür. Özellikle grafit fırınların atomlaştırıcı olarak kullanıldığı aletlerdeki saçılma, analizde ciddi sorunlar yaratır. Bunun önüne geçilmesi için uygulanan yöntemler örnek çözeltisinin içerdiği bileşenlerin standart çözeltilere de eklenmesi analiz için saçılmanın daha az olduğu farklı bir spektral hat kullanılması ve Zeeman etkisinden (manyetik alan uygulanmasında atomik enerji düzeylerinin yarılmaması) yararlanılmasıdır.

ATOMİK KÜTLE SPEKTROSKOPİSİ

Teorik temeller

Cihaz bileşenleri

Avantaj ve dezavantajları

Kütle Spektrometrisi (MS)

Kütle spektroskopisinin temeli, yüklü parçacıkların kütlelerin sayılmasına dayanmaktadır. Ancak, buradaki kütle sayımı klasik bir tartı yerine dedektöre düşen yüklü tanecik olarak sayılarak gerçekleştirilir. Kütle ayrımını ise kuadropol olarak adlandırılan ve taneciklerin kütlelerine bağlı olarak (daha doğrusu kütle/yük oranlarına bağlı olarak) hareket doğrultularının değiştiği bir elektrik alan yapmaktadır.

Kısaca, kütle spektroskopisi maddeyi meydana getiren elementleri veya bir organik molekülü meydana getiren grupları nitel ve nicel olarak tayin etmede kullanılmaktadır.

Kütle spektroskopisi, *atomik* ve *moleküler* olmak üzere iki şekilde uygulama alanı bulmuştur. Atomik kütle spektroskopisi, diğerinden farklı olarak atomlaştırıcıya ihtiyaç duyar.

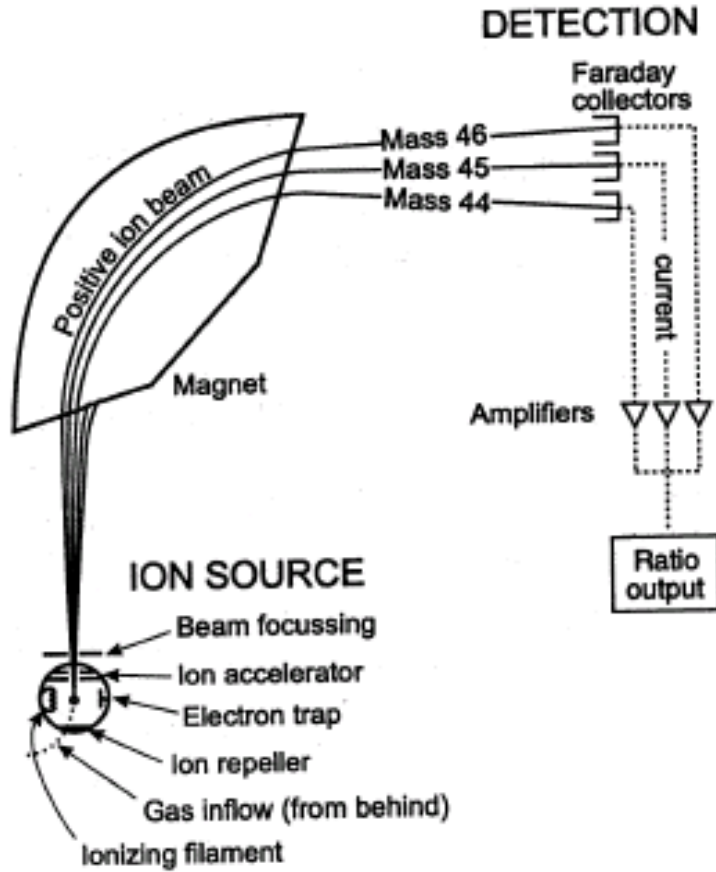


Kütle spektroskopisi;

- Maddelerin elementel bileşiminin belirlenmesinde,
- İnorganik, organik ve biyolojik moleküllerin yapılarının aydınlatılmasında,
- Katı yüzeylerin yapılarının ve bileşimlerinin aydınlatılmasında,
- Bir numunedeki elementlerin izotop oranlarının belirlenmesinde,
- Molekül kütlesinin en kolay yoldan belirlenmesinde,

kullanılır.

Atomik Kütle Spektroskopisi



Bir atomik kütle spektrometrik analiz aşağıdaki basamakları kapsar:

- (1) Atomlaşma,
- (2) Basamak 1 'de oluşan atomların büyük bir kısmının, iyon akımlarına dönüşümü (genellikle tek yüklü pozitif iyonlar),
- (3) Basamak 2'de oluşan iyonların kütle/yük oranlarına (m/z) göre ayrılması (burada m , atomik kütle birimi olarak iyonun kütlesi, z ise yüküdür),
- (4) Her tip iyonun sayılarının sayılması veya uygun bir dedektörle numunenin çarpışmasından oluşan iyonların ürettiği iyon akımının ölçülmesi.

2. Basamakta oluşan iyonların çoğu tek yüklü olduğu için, genellikle m/z , iyonun kütlesine eşittir. 1. ve 2. basamaklar, atomik optik spektroskopiyile aynıdır. 3. ve 4. basamaklar ise kütle spektrometride farklılık arz eder.

Atomik kütle spektrometresi, madde içindeki elementlerin ne olduklarını saptamakta ve derişimlerini tayin etmekte yaygın olarak kullanılan bir araçtır. Özellikle, hem atomlaşması zor olan hem de izotop türlerinin belirlenmesi önemli olan lantanit ve aktinit serisi element analizleri için özellikle önem arz eder.

Periyodik çizelgede yer alan elementlerin hemen hemen tümü kütle spektrometri ile tayin edilebilir.

Atomik kütle spektrometri, atomik optik spektrometrik yöntemlere göre daha fazla sayıda üstünlük sunar :

- (1) gözlenebilme sınırları, birçok element için optik yöntemlere göre daha iyidir,
- (2) genellikle tayin edilen elemente özgü önemli ölçüde basit spektrumlar elde edilir ve bunların yorumları kolayca yapılır
- (3) atomların izotop oranları ölçülebilir.

Sakıncaları ise şöyle sıralanabilir:

- (1) cihazı optik atomik cihazlara göre iki veya üç kat daha pahalıdır,
- (2) cihazdaki kayma saatte %5 'ten, % 10'a kadar yüksek değerlerde olabilir ve bazı girişim etkileri konusudur.

Kütle Spektrometride Atom Kütleleri

Kütle spektrometreleri izotopların kütleleri arasında fark gözetirken, diğer cihazlar genellikle bunu yapmaz.

Atom ve molekül kütlelerinin birimleri genellikle atomik kütle birimi (akb) veya dalton (Da)dur.

Bunlar izotopunu referans kabul eden bağıl bir ölçeğe dayalıdır. izotopunun kütlesi kesinlikle 12 akb olarak belirtilir. Yani *akb veya Da, nötral $^{12}_6\text{C}$ atomunun kütlesinin 1/12 'si olarak tanımlanır.*

$$1\text{akb}=1\text{Da} = \frac{1}{12} \left[\frac{12(g^{12}\text{C} / \text{mol})}{6,0221 \cdot 10^{23} \text{atom}^{12}\text{C} / \text{mol}} \right] = 1,66054 \cdot 10^{-24} \text{ g/atom } ^{12}_6\text{C}$$

^{35}Cl izotopunun kütlesi C izotopunun kütlesi ile karşılaştırıldığında 2,91407 kat büyük olduğu görülür.

$$^{35}_{17}\text{Cl} = 12 \cdot 2,91407 = 34,9688 \text{ Da} = 34,9688 \text{ akb}$$

$$^{12}\text{C}^1\text{H}_4 \text{ için } m = 12,000 \times 1 + 1,007825 \times 4 = 16,031 \text{ Da}$$

$$^{13}\text{C}^1\text{H}_4 \text{ için } m = 13,00335 \times 1 + 1,007825 \times 4 = 17,035 \text{ Da}$$

$$^{12}\text{C}^1\text{H}_3^2\text{H}_1 \text{ için } m = 12,000 \times 1 + 1,007825 \times 3 + 2,0140 \times 1 = 17,037 \text{ Da}$$

Kütle spektrometride kütleler, virgülden sonra 3 ya da 4 basamaklı olarak verilir.

Doğadaki bir elementin kütlesi veya ortalama atom kütlesi, ortalama atom kütlesiyle verilir:

$$A = A_1 \cdot p_1 + A_2 \cdot p_2 + A_3 \cdot p_3 + \dots + A_n p_n = \sum_{i=1}^n A_n \cdot p_n$$

A_i ; elementin izotoplarının kütleleri, p_i ; izotopların doğadaki bolluk kesirleridir.

Bir bileşiğin ortalama kütlesi o bileşiği oluşturan atomların, ortalama kütlesidir.

Yani CH_4 için molekül kütlesi: $12,01115 + 4 \times 1,00797 = 16,0434 \text{ Da}$ olur.

Kütle/Yük Oranı

Bu bölümde kullanılacak diğer bir terim de bir atomik ya da moleküler iyonun *kütle/yük* oranıdır. Bu terim bir iyonun atom veya molekül kütlesini (m) iyonun taşıdığı yük sayısına (z) bölmekle elde edilir.

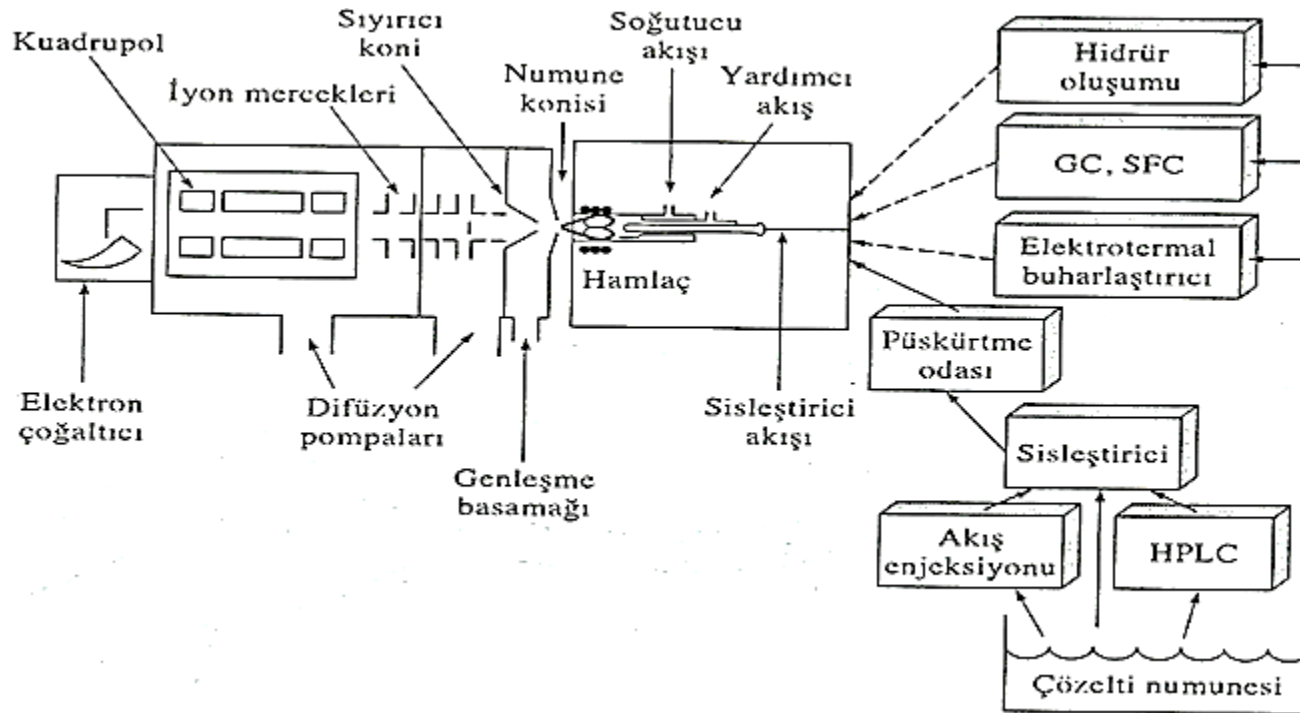
Yani $^{12}\text{C}^1\text{H}_4^+$ için, $m/z = 16,035/1 = 16,035$;

$^{13}\text{C}^1\text{H}_4^{+2}$ için, $m/z = 17,035/2 = 8,518$ olur.

Kütle spektrometride, çoğu iyon bir yüklü olduğundan, m/z oranı genellikle m olarak kısaltılır. Bu kısaltma, gerçek anlamıyla doğru değildir, fakat kütle spektrometri literatüründe geniş bir şekilde kullanılır .

KÜTLE SPEKTROMETRELERİ'nin çalışma prensibi;

Kütle spektrometresi, iyonlaşma bölgesinde elde edilen hareketli iyonları, elektrikle yüklü plakalara doğru çekerek hızlandırılır. Kütle ayırıcısında, kütle/yük (m/z) oranlarına göre ayrılan iyonların çoğu tek yüklü olduğundan, m/z oranı basitçe iyonun kütlesine eşittir. Çeşitli tipte kütle spektrometreler kullanılmaktadır. Bunlar, *kuadrupol kütle spektrometre*, *uçuşzamanlı kütle spektrometre* ve *çift-odaklamalı kütle spektrometredir*.



İyonlaştırma işlemi filament kaynaklı elektronlarla (Ei), kıvılcımla, foto iyonlaşma, ısı ve kimyasal yoldan, alan iyonlaştırması, soygazlarla veya lazer desorpsiyonu ile sağlanabilir. Birbirlerine göre avantajları ve dezavantajları bulunan iyonlaştırma yöntemi seçiminde molekülün iyonlaşma gücü, oluşan iyon sayısı (parçalanma ürünü) ve numunenin veriliş şekli dikkate alınmalıdır.

İyon kaynağının çıktısı, daha sonra kütle analizörüne gitmek üzere hızlandırılan pozitif (daha yaygın) ya da negatif bir gaz fazındaki iyon akımıdır.

Kütle analizörünün işlevi, bir optik spektrometredeki monokromatörün aynıdır. Birincide dağılım analit iyonlarının kütle/yük oranına, diğerinde ise fotonların dalga boyuna bağlıdır.

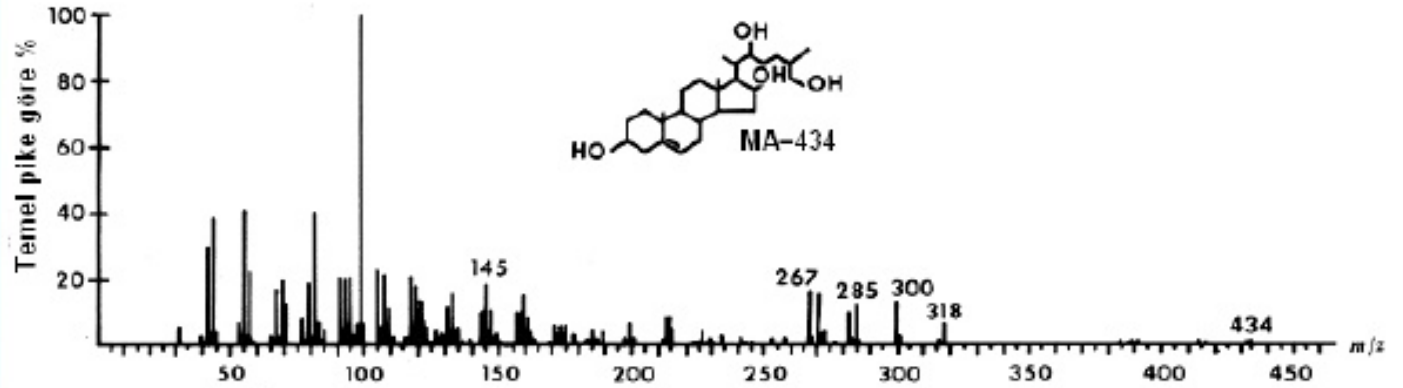
Bir optik spektrometre gibi kütle spektrometre de, iyon demetlerini daha sonra işleme sokulacak bir bilgisayarın hafızasına yüklenecek ve görüntülenecek veya çeşitli şekillerde kaydedilecek elektrik sinyallerine dönüştüren bir dedektör içerir. Optik spektrometreye benzemeyen tarafı ise, sinyal işlemci ve okuma düzeneği dışında, tüm bileşenleri düşük basınçta tutacak bir vakum sistemine gerek duymasıdır.

Atomik Kütle Spektrometri Tipleri

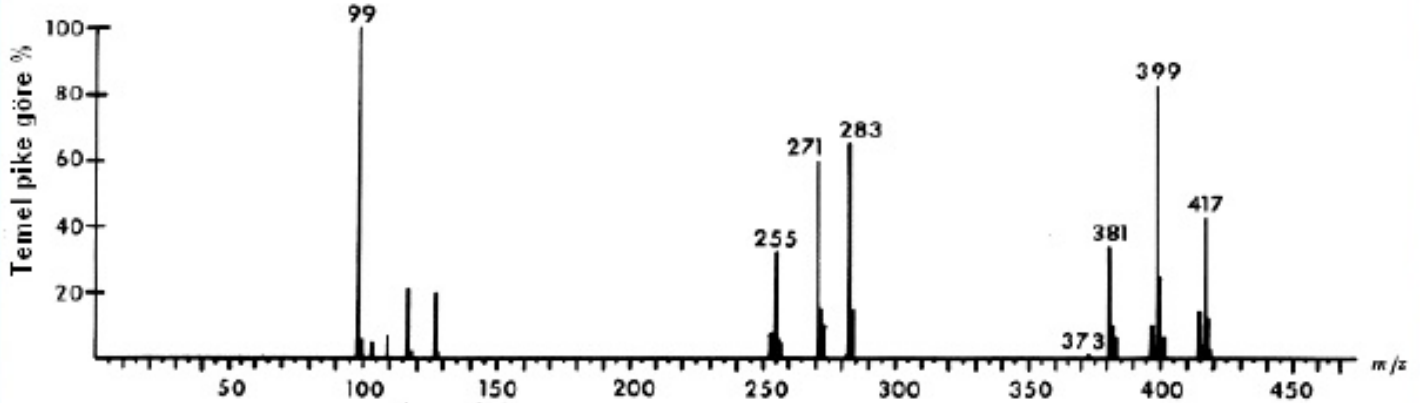
İsimi	Kısaltma	Atomik İyon Kaynakları	Tipik Kütle Analizörü
İndüktif eşleşmiş plazma	ICPMS	Yüksek-sıcaklık argon plazma	Kuadrupol
Doğru akım plazma	DCPMS	Yüksek-sıcaklık argon plazma	Kuadrupol
Mikrodalga-uyarımli plazma	MIPMS	Yüksek-sıcaklık argon plazma	Kuadrupol
Kıvılcım kaynağı	SSMS	Radyo-frekans elektrik kıvılcımı	Çift-odaklamalı
Termal iyonlaşma	TIMS	Elektriksel olarak ısıtılan plazma	Çift-odaklamalı
Akkor boşalımlı	GDMS	Akkor-boşalımlı plazma	Çift-odaklamalı
Lazer mikroprobu	LMMS	Odaklanmış lazer ışını	Uçuş-zamanlı
İkincil iyon	SIMS	Hızlandırılmış iyon bombardımanı	Çift-odaklamalı

İyonlaştırma Yönteminin Kütle Spektroskopisine Etkisi

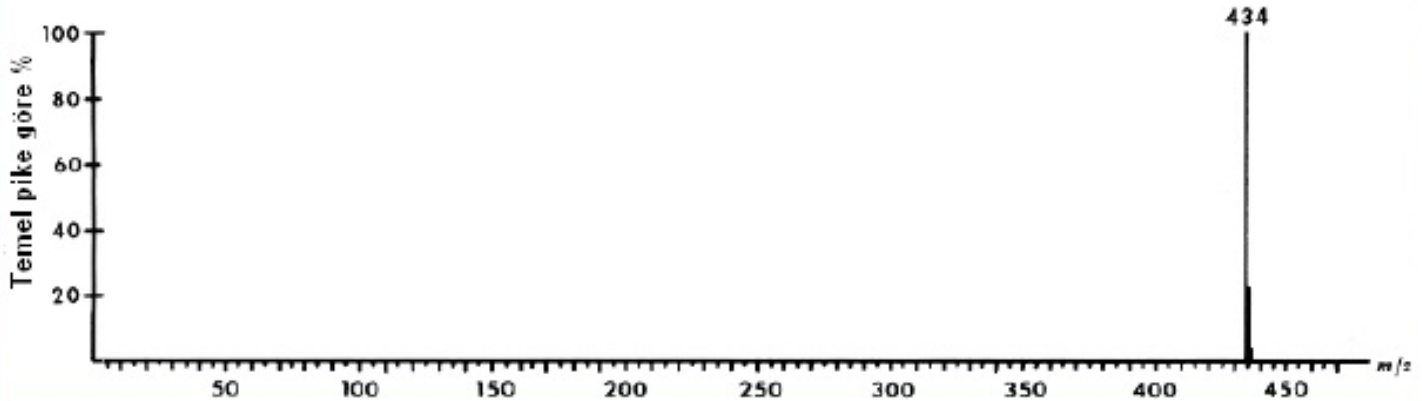
Elektron
çarpma (Ei)
iyonlaştırma

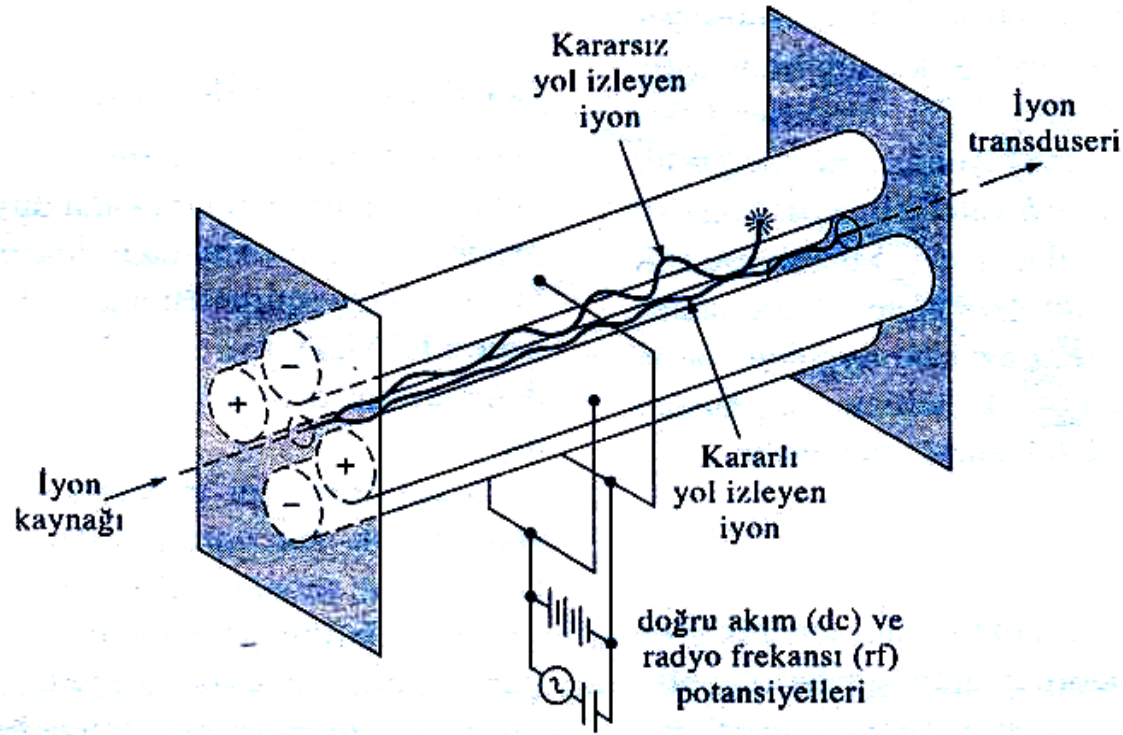


Kimyasal
iyonlaştırma



Alan
iyonlaştırma

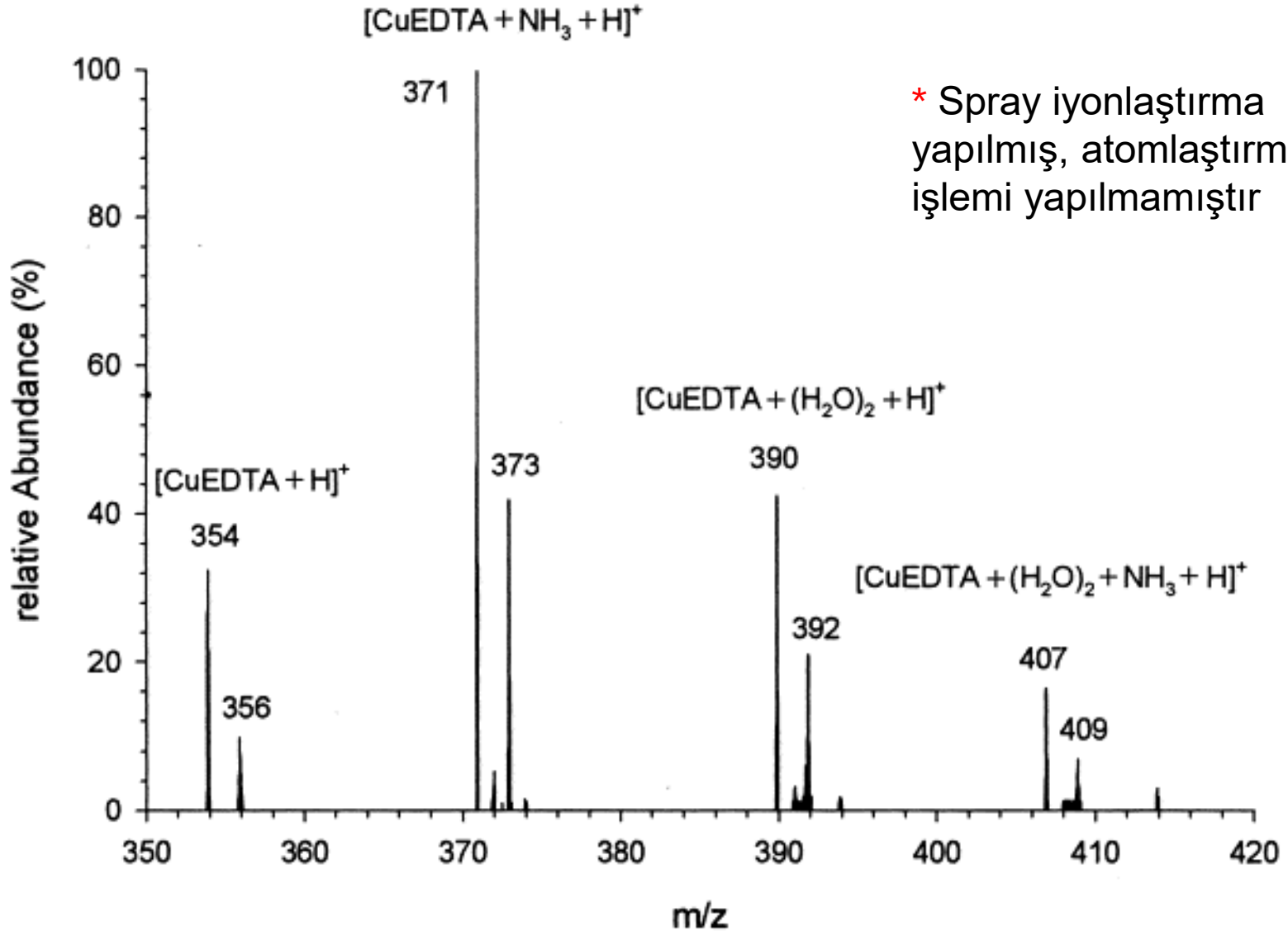




Bir kuadropol kütle spektrometre.

Kuadropolu kütle filtresi olarak adlandırmak daha doğrudur. Bir kuadropolde (–) uçlar dc kaynağın pozitif ucuna , (+) uçlar da kaynağın negatif ucuna bağlanarak gerilim uygulanır. Hızlandırıcıdan gelen iyonlar bu dört silindirin ortasındaki boşluktan karşıdaki dedektöre ulaşır. Farklı potansiyel oranları uygulanarak farklı m/z oranındaki iyonlar dedektöre ulaşarak ayrılmış olur.

İNORGANİK BİR TÜR OLARAK BAKIRIN EDTA, NH₃ VE SU VARLIĞINDA KÜTLE SPEKTRUMU



İNDÜKTİF EŞLEŞMİŞ PLAZMA KÜTLE SPEKTROMETRİ

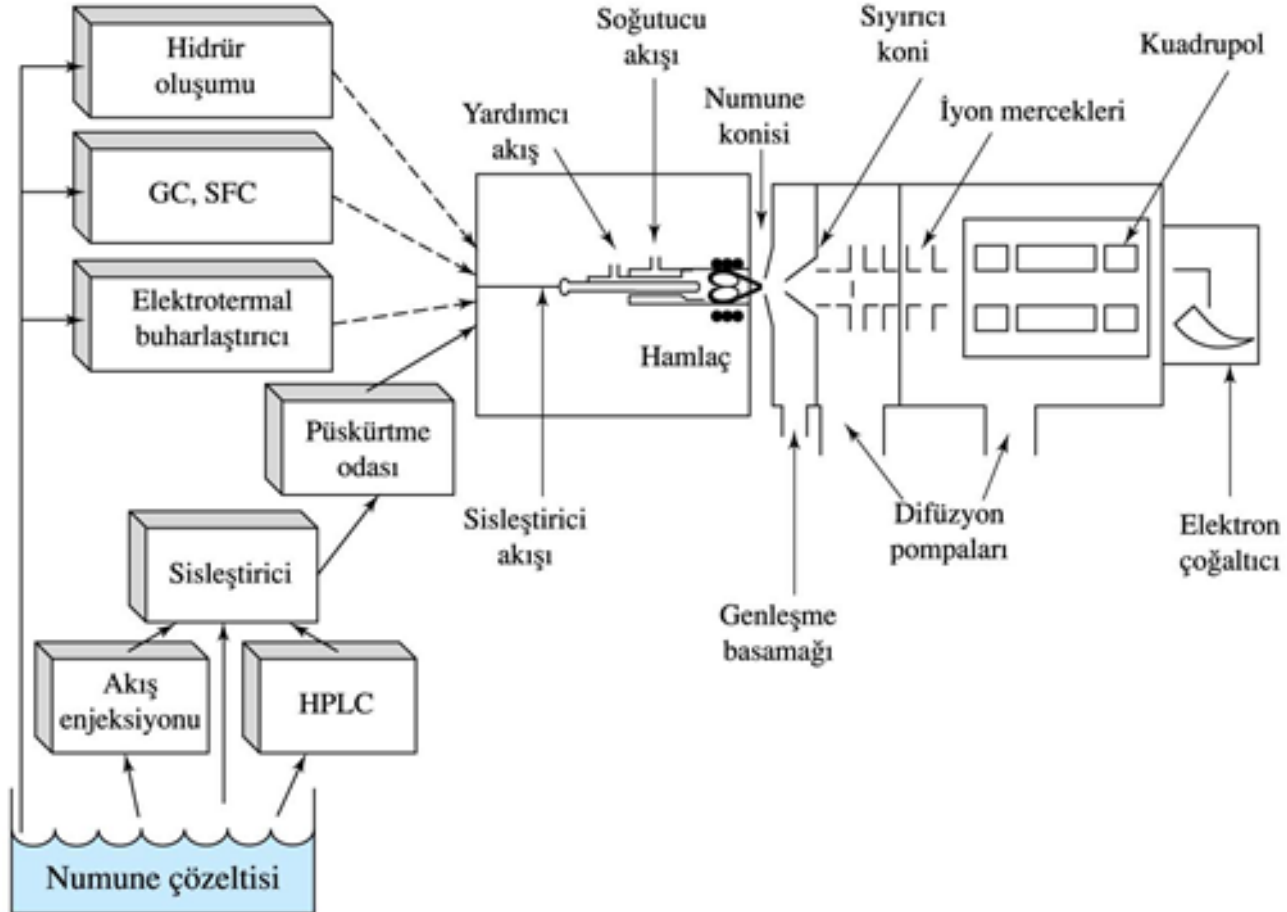
1980'lerin başından beri ICP-MS, birçok element için düşük gözlenebilme sınırları, yüksek seçiciliği, iyi doğruluk ve kesinliğiyle en önemli tekniklerden biri olarak gelişmektedir.

İndüktif eşleşmiş plazmanın bir arabirimle kütle spektrometresine eklenerek elde edilen bir birleştirilmiş (coupling) yöntemidir.

Bu uygulamalarda bir ICP hamlacı, atomlaştırıcı ve iyonlaştırıcı olarak iş görür.

Çözeltiler için, numune klasik ya da ultrasonik bir sisleştirici ile verilir. Katılar için diğer bir numune verme tekniği uygulanır. Bu bir kıvılcım, lazer veya elektrik boşalımı olabilir. Cihazın ticari tiplerinde tüm bu teknikler 1983'ten beri kullanılmaktadır. Bu cihazlarda pozitif metal iyonları klasik bir ICP hamlacında üretilir. Bu spektrumlar numunede bulunan elementlerin kalitatif ve kantitatif tayinlerinde kullanılır.

İNDÜKTİF EŞLEŞMİŞ PLAZMA KÜTLE SPEKTROMETRİ

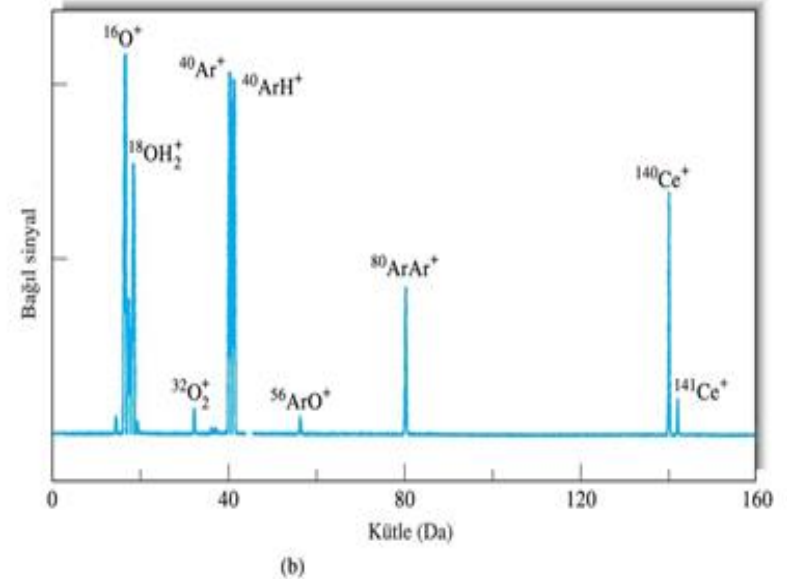
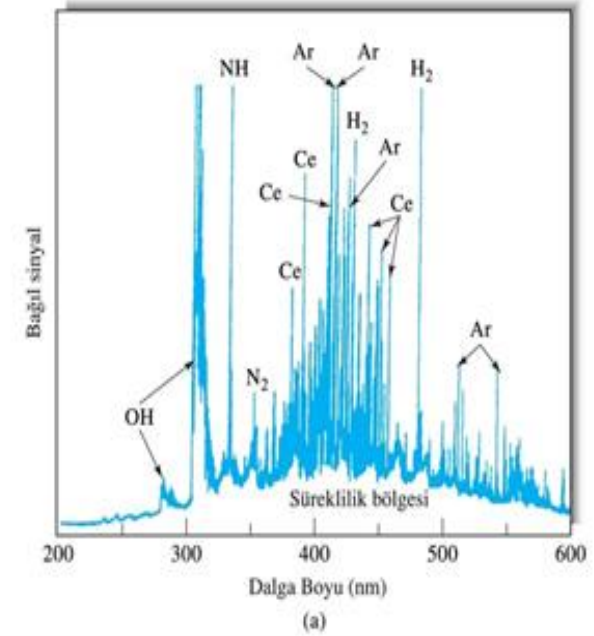


Bir ICPMS sisteminin şematik görünüşü. Kesikli çizgiler gaz fazındaki numunelerin kesiksiz çizgiler ise, sıvı numunelerin sisteme girişini göstermektedir. HPLC = Yüksek performanslı sıvı kromatografi. SFC = süperkritik akışkan kromatografi

Atomik Kütle spektroskopisinde Girişimler

Bir kütle ayırıcısının ayırıcılığı $R = m/\Delta m$ ile verilir. Burada m komşu iki pikin kütlelerin ortalaması, Δm ise piklerin kütleleri arasındaki farktır.

Yandaki şekilde üstte 100 ppm seryum içeren çözeltinin optik emisyon spektrumunda çok sayıda emisyon piki gözlenirken, aşağıdaki şekilde 10 ppm seryum çözeltisinin kütle spektrumunda Ce izotoplarının pikleri ayrılmış olarak görülmektedir.

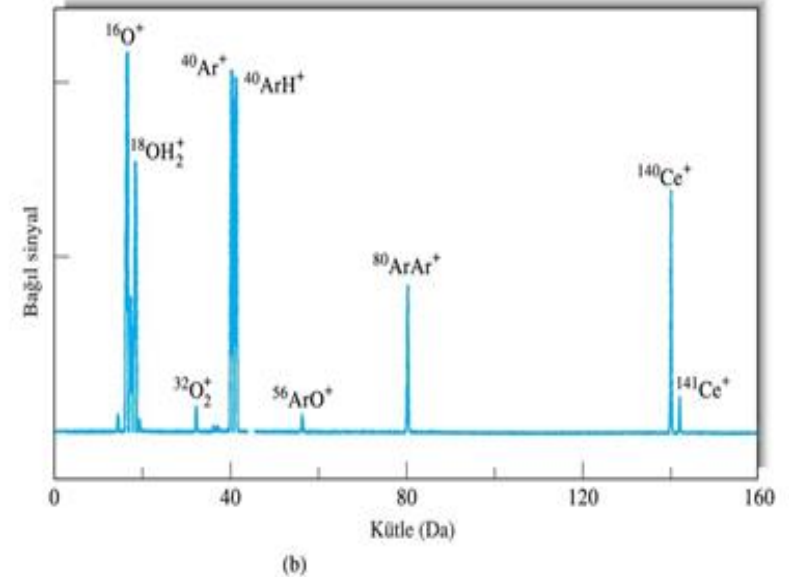
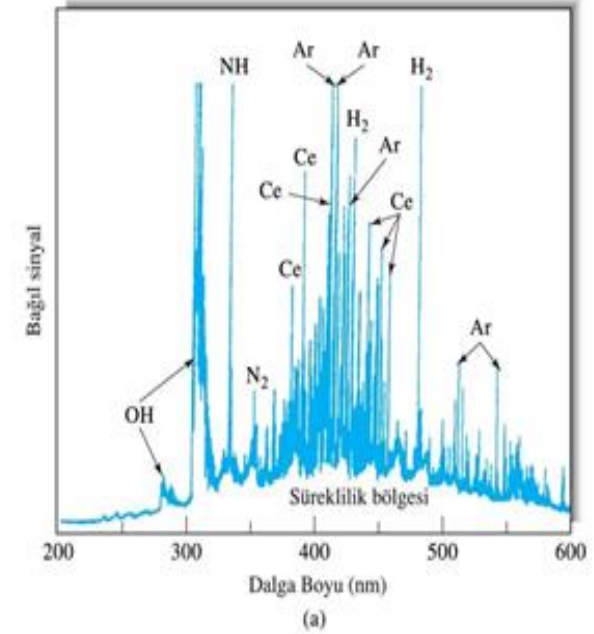


(a) 100 ppm seryum'un optik ICP spektrumu ile (b) 10 ppm seryum'un kütle ICP spektrumunun kıyaslanması.

Atomik Kütle spektroskopisinde Girişimler

Plazmalı atomik kütle spektroskopisinde plazmadaki iyonik türle (Ar^+) analit iyonu aynı m/z oranına sahipse spektral girişim gözlenir.

ICP-MS de bozucu madde derişimleri 500-1000 $\mu\text{g}/\text{ml}$ den fazla ise matriks etkisi gözlenir. Bu etki genelde analit sinyalini zayıflatacak şekilde ortaya çıkar. Bu etki daha seyreltik çözeltiler kullanılarak, numune verme şekli değiştirilerek ya da ayırma ile giderilir.



(a) 100 ppm seryum'un optik ICP spektrumu ile (b) 10 ppm seryum'un kütle ICP spektrumunun kıyaslanması.

Analitik Uygulamaları

ICP-MS numunelerde bir ya da daha fazla elementin, kalitatif, yarı-kantitatif ve kantitatif tayinlerinde kullanılır .

ICP-MS çoklu element analizlerine kolayca uyarlanabildiği için, çeşitli tipte doğal ya da sentetik karmaşık malzemelerin yarı-kantitatif analizine ve hızlı karakterizasyonuna olanak sağlar.

Genel olarak gözlenebilme sınırları, optik emisyon ICP'den daha iyi, elektrotermal atomik absorpsiyon spektroskopi ile yarışabilir niteliktedir.

Genellikle atomik kütle spektrumları, optik emisyon spektrumlarından daha basittir ve değerlendirilmesi daha kolaydır. Bu özellik, nadir toprak elementleri ve demir gibi karmaşık emisyon spektrumu veren ağır elementler için önemlidir.

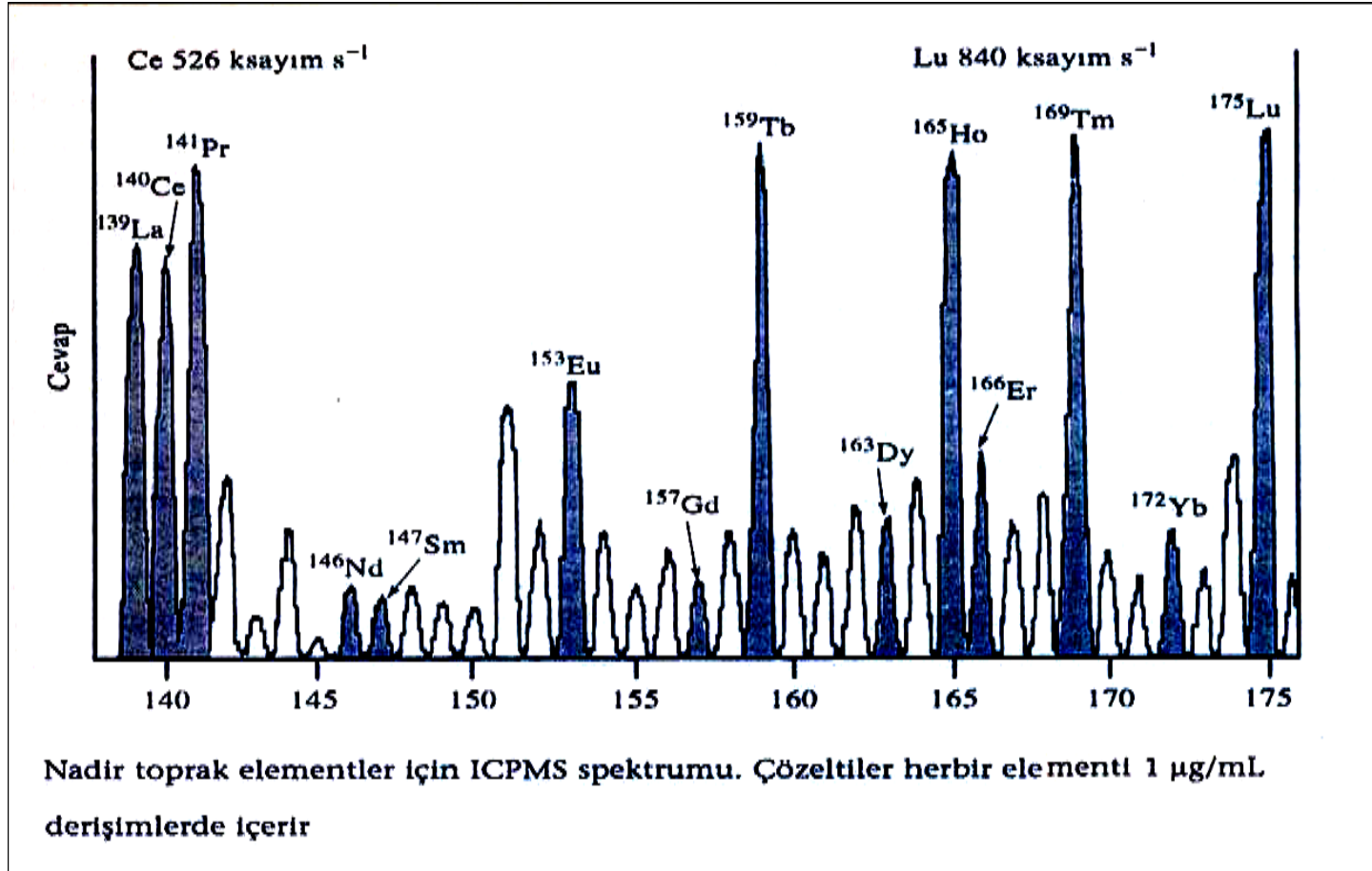
Örneğin; atom kütleleri 139-175 aralığında olan 14 nadir toprak elementinin bir karışımının atomik kütle spektrumu yer almaktadır.

Böyle bir karışımın optik emisyon spektrumu o kadar karmaşıktır ki, değerlendirilmesi zaman alıcı ve belki de olanaksızdır.

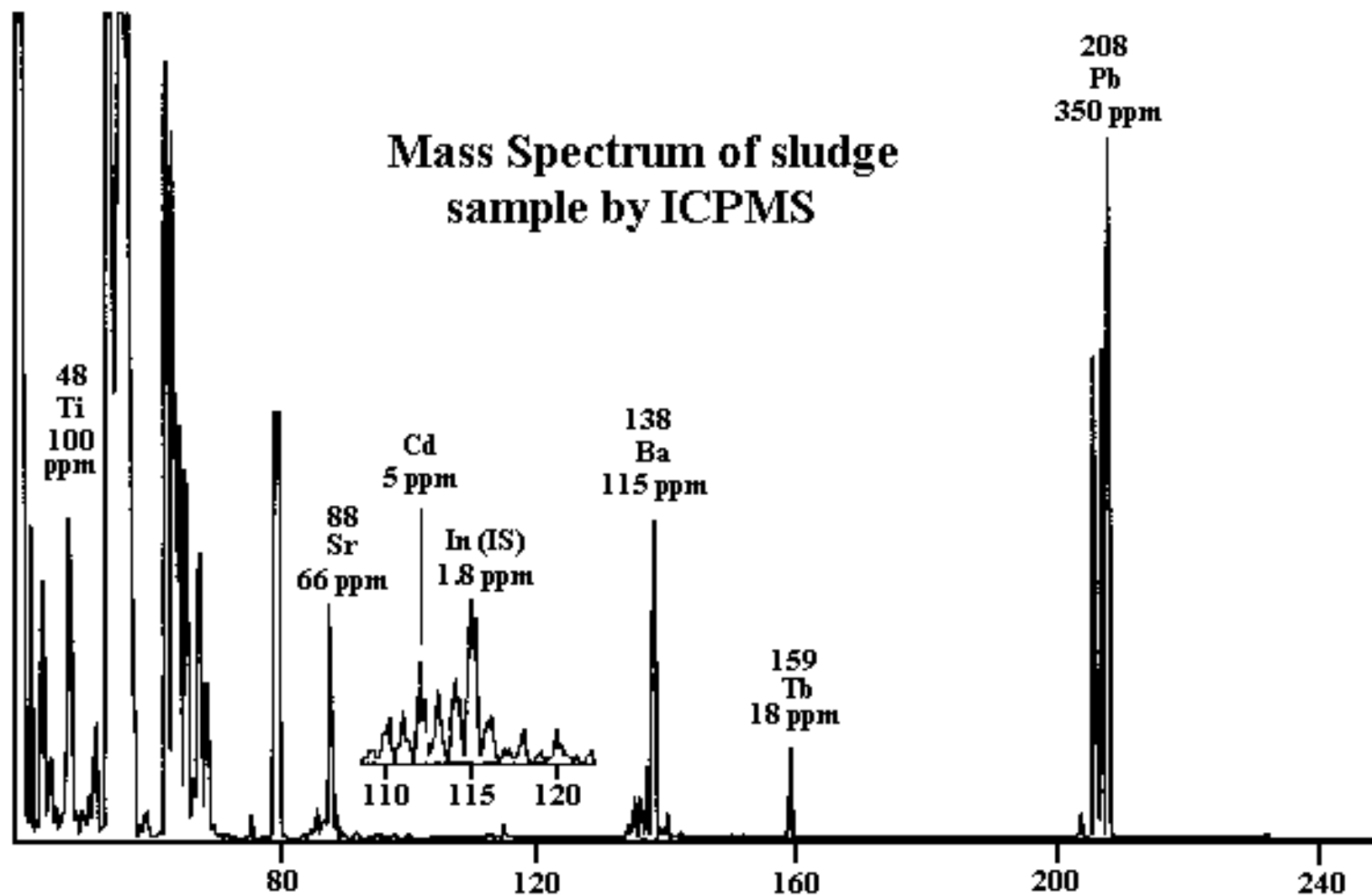
Şekildeki gibi bir karışımın içindeki bir veya daha fazla bileşenin yarı-kantitatif analizi, pikin iyon akımını veya aranan elementin bilinen bir derişimde çözeltisi için pik şiddetini ölçerek yapılır.

İyon akımının, derişimle orantılı olduğu varsayılarak, analit derişimi hesaplanır.

Bu kaba, fakat basit, yöntemle hesaplanan derişimler genellikle $\pm\% 100$ bağıl bir doğruluğa sahiptir.



Mass Spectrum of sludge sample by ICPMS



Gözlenebilme Sınırları

ICPMS'in en cazip yönlerinden biri, kütle spektrometrik belirlemenin optik belirlemeye göre daha düşük gözlenebilme sınırları sağlamasıdır. Bu sınırlar, birçok durumlarda elektrotermal atomik absorpsiyonla aynı, bazen da daha düşüktür.

ICPMS işlemi, kuşkusuz hız ve çoklu element analizleri gibi avantajlar da sağlar.

Genellikle kütle spektrometrik analizlerde, tayin aralığı 0,02-0,7 ppb, bazı elementler içinse 0,1 ppb kadardır (yani 10 milyarda sadece bir)

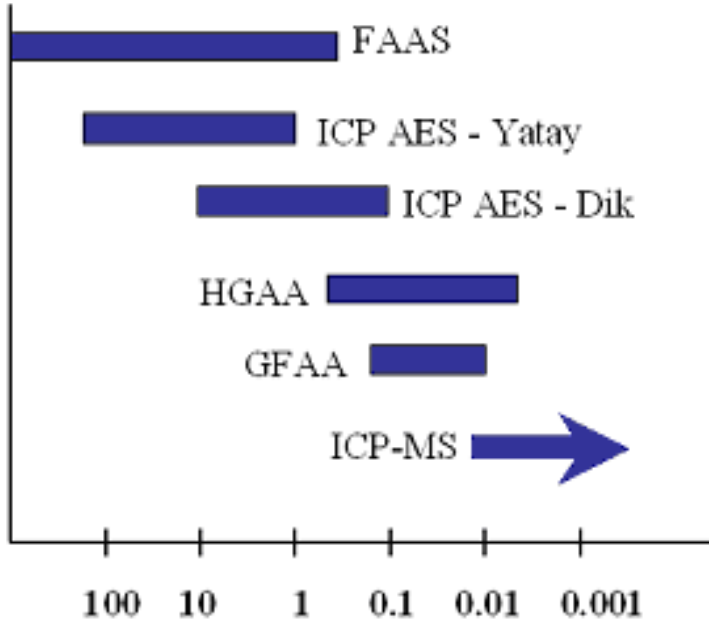
Atomik Spektroskopik Yöntemlerin Karşılaştırılması

Ölçütler	Alevli AA	GFAA	ICP-OES	ICP-MS
Algılama limiti	ppb üstü	ppb altı	ppb-ppm altı	ppt altı
Analitik kapasite	tek element	tek element	çoklu element	çoklu element
Analiz süresi	~ 3-10 s/ element / örnek	~ 2-3 dk / element / örnek	~ 1-5 dk / örnek	~ 1-4 dk / örnek
Dinamik aralık (Doğrusallık aralığı)	orta ppm aralığı	düşük ppm aralığı	yüksek ppm aralığı	orta ppm aralığı
Kesinlik				
Kısa süreli çalışmada	% 0.1 - 1	% 0.5 - 5	% 0.1 – 2	% 0.5 – 2
Uzun süreli çalışmada	% 1 – 2 (çift ışınlı)	% 1 – 10	~ % 1 – 5	< % 4 (4 saat)
Girişimler				
Spektral	az	çok az	biraz	az
Kimyasal	çok	çok	çok az	biraz
Fiziksel	biraz	çok az	biraz	biraz
Örnek derişimi	% 5'e kadar	% 10'a kadar	% 20'ye kadar	< % 0.2

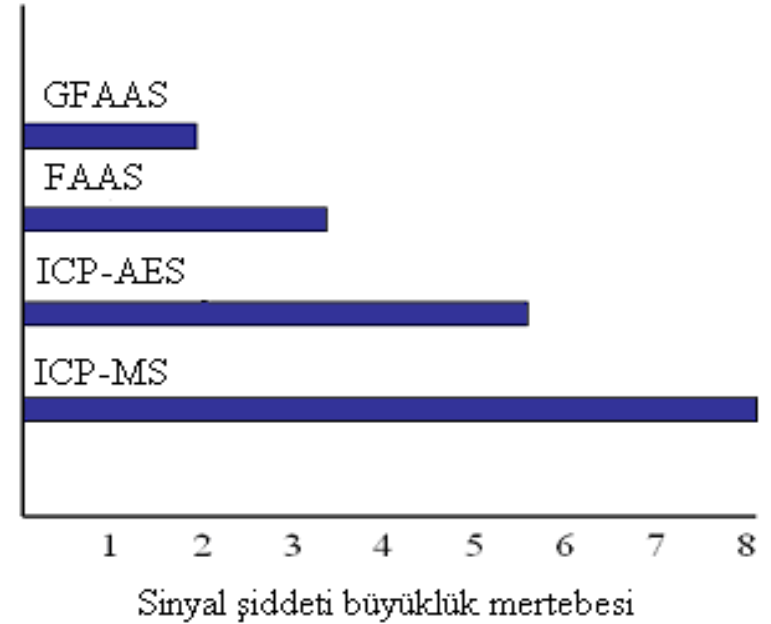
Ölçütler	Alevli AA	GFAA	ICP-OES	ICP-MS
Uygulanabildiği elementler	> 60	> 50	> 70	> 80
Gereken örnek hacmi	4-8 ml/dk	~ 0.2 -1 ml	~ 1-2 ml/dk	~ 0.02-2 ml/dk
Yarı nicel analiz	-	-	+	+
İzotop analizi	-	-	-	+
Kullanım kolaylığı	çok kolay	daha zor	kolay	daha zor
Yöntem geliştirme	kolay, çalışma kitapları var	oldukça kolay, çalışma kitapları var	oldukça kolay	daha zor
Tek başına çalışma	hayır, yanabilir gaz	evet	evet	evet
Başlangıç maliyeti	düşük	orta	yüksek	çok yüksek
Çalıştırma maliyeti	düşük	yüksek	orta	yüksek
Örnek maliyeti	düşük	orta	düşük	orta

Atomik Spektroskopi Yöntemlerinin Karşılaştırılması

AAS, AES ve AMS yöntemlerinin gözlenebilme sınırı ve çalışma aralıklarının karşılaştırılması



Gözlenebilme sınırı aralıkları ($\mu\text{g L}^{-1}$)



Çalışma aralıklarının oranları

ATOMİK SPEKTROSKOPİK YÖNTEMLERİN GENEL DEĞERLENDİRMESİ

Atomik Spektroskopi Yöntemlerinin Gözlenebilirlik Sınırları (µg L⁻¹)

Element	Alev AA	Hg / Hidrür	GFAA	ICP Emisyon	ICP-MS	Element	Alev AA	Hg / Hidrür	GFAA	ICP Emisyon	ICP-MS
Ag	1.5		0.005	0.6	0.002	Mo	45		0.03	0.5	0.001
Al	45		0.1	1	0.005	Na	0.3		0.005	0.5	0.0003
As	150	0.03	0.05	2	0.0006	Nh	1500			1	0.0006
Au	9		0.15	1	0.0009	Nd	1500			2	0.0004
B	1000		20	1	0.003	Ni	6		0.07	0.5	0.0004
Ba	15		0.35	0.03	0.00002	Os				-6	
Be	1.5		0.008	0.09	0.003	P	75000		130	4	0.1
Bi	30	0.03	0.05	1	0.0006	Pb	15		0.05	1	0.00004
Br					0.2	Pd	30		0.09	2	0.0005
C					0.8	Pr	7500			2	0.00009
Ca	1.5		0.01	0.05	0.0002	Pt	60		2.0	1	0.002
Cd	0.8		0.002	0.1	0.00009	Rb	3		0.03	5	0.0004
Ce				1.5	0.0002	Re	750			0.5	0.0003
Cl					12	Rh	6			5	0.0002
Co	9		0.15	0.2	0.0009	Ru	100		1.0	1	0.0002
Cr	3		0.004	0.2	0.0002<1	S				10	28
Cs	15				0.0003	Sb	45	0.15	0.05	2	0.0009
Cu	1.5		0.014	0.4	0.0002	Sc	30			0.1	0.004
Dy	50			0.5	0.0001	Se	100	0.03	0.05	4	0.0007
Er	60			0.5	0.0001	Si	90		1.0	10	0.03

Elementler ve Analiz Yöntemleri						Elementler ve Analiz Yöntemleri					
Element	Alev AA	Hg / Hidrür	GFAA	ICP Emisyon	ICP-MS	Element	Alev AA	Hg / Hidrür	GFAA	ICP Emisyon	ICP-MS
Eu	30			0.2	0.00009	Sm	3000			2	0.0002
F					372	Sn	150		0.1	2	0.0005
Fe	5		0.06	0.1	0.0003<1	Sr	3		0.025	0.05	0.00002
Ga	75			1.5	0.0002	Ta	1500			1	0.0005
Gd	1800			0.9	0.0008	Tb	900			2	0.00004
Ge	300			1	0.001	Te	30	0.03	0.1	2	0.0008
Rf	300			0.5	0.0008	Th				2	0.0004
Hg	300	0.009	0.6	1	0.016	Ti	75		0.35	0.4	0.003
Ho	60			0.4	0.00006	Tl	15		0.1	2	0.0002
I					0.002	Tm	15			0.6	0.00006
In	30			1	0.0007	U	15000			10	0.0001
Ir	900		3.0	1	0.001	V	60		0.1	0.5	0.0005
K	3		0.005	1	0.0002	W	1500			1	0.005
La	3000			0.4	0.0009	Y	75			0.2	0.0002
Li	0.8		0.06	0.3	0.001	Yb	8			0.1	0.0002
Lu	1000			0.1	0.00005	Zn	1.5		0.02	0.2	0.0003
Mg	-0.15		0.004	0.04	0.0003	Zr	450			0.5	0.0003
Mn	1.5		0.005	0.1	0.00007						