

MOLEKÜLER ABSORPSİYON SPEKTROSKOPİSİ İLE TEK VE İKİ BİLEŞENLİ KARIŞIMDA TAYİN

A. KURAMSAL BİLGİ

Moleküler absorpsiyon spektroskopisi, 190-780 nm dalga boyları arasındaki ışığın b ışın yoluna sahip bir hücredeki çözeltinin geçirgenliğinin (T) veya absorpsiyonunun (A) ölçümüne dayanır. Bu absorpsiyon moleküllerdeki bağ elektronlarının daha üst enerji düzeylerine uyarılmasından kaynaklanır. Bunun sonucu olarak moleküler absorpsiyon spektroskopisi bir moleküldeki fonksiyonel grupların tanımlanmasında ve aynı zamanda fonksiyonel grupları taşıyan bileşiklerin nicel tayininde kullanılır. Moleküler absorpsiyon spektroskopisi çok sayıda organik ve inorganik bileşiğin analizinde kullanılmaktadır.

Mor ötesi (UV) /Görünür Bölgedeki (GB) elektronik geçişler aşağıdaki türlerde olur.

π , σ ve n orbitalleri arasındaki geçişler (organik moleküllerde)

d ve f orbitalleri arasındaki geçişler (koordinasyon komplekslerinde)

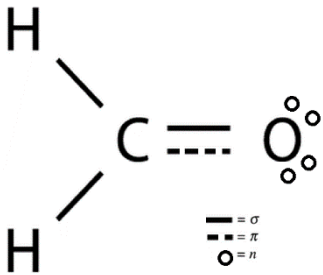
Yük aktarım geçişleri (hem organik moleküller ve hem de komplekslerde)

1. π , σ ve n orbitalleri arasındaki geçişler

Organik bileşiklerde 185 nm'den daha düşük dalga boylu ışınları absorplayan geçişleri incelemek zordur, çünkü bu dalga boyları vakum UV bölgesine düşer.

Bir organik molekülde absorpsiyona neden olan elektronlar şunlardır:

- bağ elektronları (π ve σ bağ orbitallerindeki elektronlar)
- Oksijen, kükürt, azot, halojenler gibi atomların çevresinde bulunan ortaklanmamış elektron çiftleri (n bağ yapmayan orbitaldeki elektronlar)



Formaldehit molekülü her üç orbital türünü içermesi bakımından önemlidir (Şekil 1) .

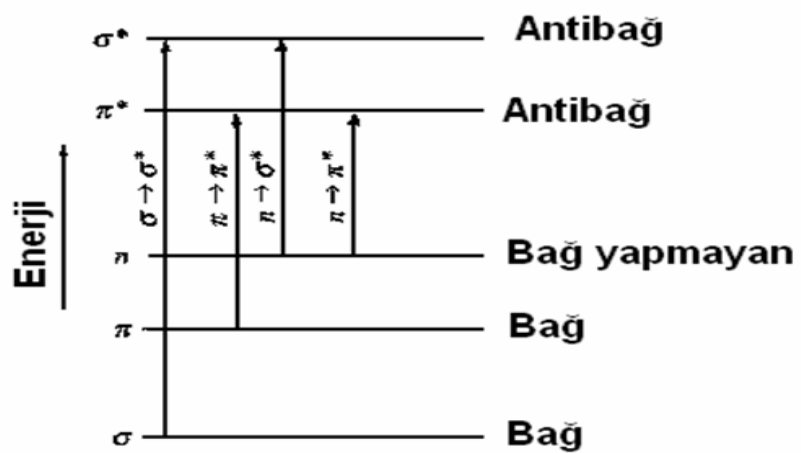
Şekil 1 Formaldehitte moleküler orbitaller

Çoğu kez, bağ yapmayan orbitalin enerji seviyesi, bağ ve antibağ (karşı bağ) orbitallerinin enerji düzeylerinin arasında yer alır. Şekil 2'de gösterildiği gibi, organik moleküllerde dört tür elektronik geçiş olasıdır:

$\sigma \rightarrow \sigma^*$, $n \rightarrow \sigma^*$, $n \rightarrow \pi^*$, ve $\pi \rightarrow \pi^*$.

Diğer 2 geçiş ihtimali ($\sigma \rightarrow \pi^*$ ve

$\pi \rightarrow \sigma^*$, yasaklanmış geçişlerdir. Nadiren gözlenir.



Şekil 2: Moleküler absorpsiyon spektroskopisindeki geçişler

$\sigma \rightarrow \sigma^*$ Geçişleri: Bir molekülde σ bağ orbitalindeki bir elektron, vakum UV bölgesindeki bir ışını absorplayarak antibağ orbitaline uyarılır, bu durumda $\sigma \rightarrow \sigma^*$ geçişi meydana gelmiş olur. Diğer elektronik geçişlere kıyasla $\sigma \rightarrow \sigma^*$ geçişleri için gereken enerji oldukça yüksektir. Örneğin, sadece C-H bağları içeren ve dolayısıyla sadece $\sigma \rightarrow \sigma^*$ geçişleri gösterebilen metan (CH_4)'ın 124 nm'de bir absorpsiyon maksimumu vardır. Etan (C_2H_6)'ın absorpsiyon piki ise 135 nm'de görülür, bu geçiş C-C bağ elektronlarından kaynaklanır, C-C bağının kuvveti C-H bağınınkinden daha az olduğundan, bunun uyarılması daha az enerji ister.

$n \rightarrow \sigma^*$ Geçişleri: Bu geçişler ortaklanmamış elektron çiftleri (bağ yapmayan orbitalde bulunan elektronlar) içeren bileşiklerde gözlenir. Genelde bu geçişler $\sigma \rightarrow \sigma^*$ geçişlerinden daha az enerji gerektirir ve absorpsiyon piklerinin çoğu 150-250 nm aralığındaki bölgede yer alır. Bu tip absorpsiyona özgü molar absorplama katsayısı değerleri düşük veya orta şiddetlidir ve çoğunlukla $100\text{-}3000 \text{ L.cm}^{-1}\text{.mol}^{-1}$ aralığında yer alır.

$n \rightarrow \pi^*$, ve $\pi \rightarrow \pi^*$ Geçişleri 200-700 nm arasındaki spektral bölgede absorpsiyon yaptıklarından UV/GB spektroskopisinde en çok karşılaşılan geçişlerdir. Bu geçişlerin her ikisi de, π^* orbitallerini içerdiğinden doymamış fonksiyonel grup içeren organik bileşiklerde gözlenir. Doymamış absorplayıcı merkezler kromofor olarak adlandırılır.

$n \rightarrow \pi^*$ geçişlerinin molar absorplama katsayısı değerleri çoğu kez düşük olup, genellikle $10\text{-}100 \text{ L.cm}^{-1}\text{.mol}^{-1}$ aralığında yer alırlar; buna karşılık $\pi \rightarrow \pi^*$ geçişlerine ait değerler normal olarak $1000\text{-}10000 \text{ L.cm}^{-1}\text{.mol}^{-1}$ arasına rastlar.

Bu iki absorpsiyon tipi arasındaki diğer bir karakteristik fark, çözücünün, piklerin dalga boyu üzerindeki etkisidir. $n \rightarrow \pi^*$ geçişlerine ilişkin pikler, genellikle çözücünün artan polarlığıyla daha düşük dalga boylarına kayar (*hipsokromik veya maviye kayma*). Her zaman olmasa bile çoğu kez $\pi \rightarrow \pi^*$ geçişleri için karşıt eğilim (*bathokromik veya kırmızıya kayma*) geçerlidir.

2. d ve f elektronları içeren kompleks bileşiklerdeki geçişler

Çoğu geçiş metali iyonları, UV veya GB'de absorpsiyon gösterirler. Geçiş metallerinin spektral özellikleri, 3d ve 4d orbitallerinin çeşitli enerji seviyeleri arasındaki elektronik geçişlerden kaynaklanır. Lantanit ve aktinit serileri için absorpsiyon bandları 4f ve 5f elektronlarının elektronik geçişlerinden kaynaklanır.

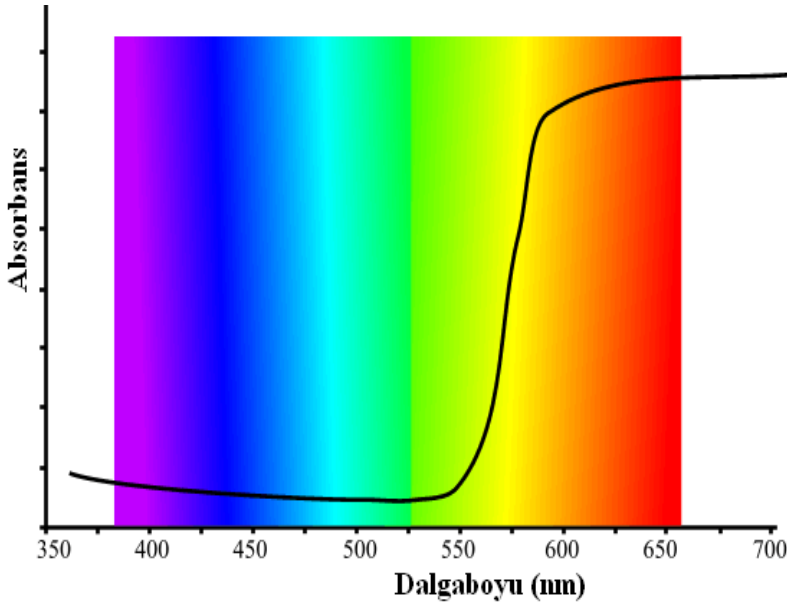
İlk iki geçiş metalleri serisindeki 18 elementin iyon ve kompleksleri, bu elementlerin tüm yükseltgenme basamaklarında olmasa bile birinde görünür ışığı absorplama eğilimindedirler. Ancak, lantanit ve aktinit elementlerinin tersine, bunlarda absorpsiyon bantları genellikle geniştir ve kimyasal çevre faktörlerinden kuvvetle etkilenir. Örneğin, su ile kompleks yapan bakır(II) iyonu soluk mavi rengine karşılık, amonyak ile kompleks yapan bakır(II) iyonu koyu mavi renktedir.

Çoğu lantanit ve aktinit elementinin iyonları, ultraviyole ve görünür bölgede absorpsiyon yapar. Birçok inorganik ve organik absorpsiyon yapan maddenin davranışından belirgin biçimde farklı olarak, bunların spektrumları dar, iyi tanımlanmış ve karakteristik absorpsiyon piklerinden oluşur ve bu pikler, metal iyonuna bağlanmış ligandın tipinden az etkilenir.

3. Yük aktarım geçişleri

Analitik amaçlar doğrultusunda yük-aktarım absorpsiyonu gösteren türler özel bir öneme sahiptir. Çünkü bunların molar absorplama katsayıları çok yüksektir ($\epsilon_{\text{maks}} > 10000$). Bu tür komplekslerin bilinen örnekleri; demir(III)'in tiyosiyanat ve fenolatları, demir(II)'in o-fenantrolinle verdiği kompleks, moleküler iyodun iyodür kompleksi (I_3^-) ve prusya mavisi ($\text{Fe}(\text{CN})_6^{4-} / \text{Fe}(\text{CN})_6^{3-}$) dir. Bir kompleksin yük aktarım absorpsiyonu yapabilmesi için bileşenlerinden birinin elektron verici diğerinin ise elektron alıcı olması gerekir. Bu durumda ışın absorpsiyonu, elektronun elektron vericiden elektron alıcının orbitaline geçişiyle ilişkilidir.

4. Çözeltilerin renkleri

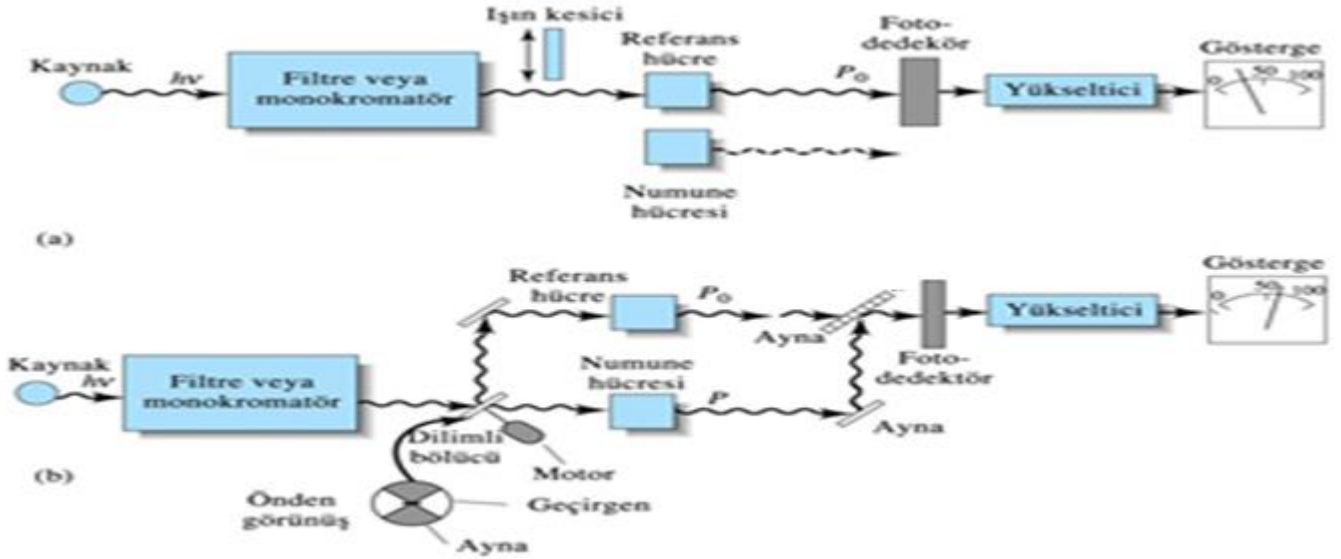


Çözeltiler absorpladıkları renklerde değil tamamlayıcı (mevcut rengin diğer iki ana renkten farkını gösterir) renklerinde görünürler.

Mavi renkli CuSO_4 çözeltisinde (550-650 nm) sarı ve kırmızı renkli ışınlar absorplanmış mavi renkli ışınlar salınmıştır (Şekil 3).

Şekil 3: CuSO_4 ün Absorpsiyon spektrumu

B. MOLEKÜLER ABSORPSİYON SPEKTROMETRESİ



Şekil 4: Tek (a) ve Çift ışın yollu spektrofotometre

Tek ışık yollu spektrofotometrelerde (Şekil 4a) aynı dalga boyunda çözücüye karşı ışık yolu kapatılarak sıfır geçirgenlik ayarı ve de ışık yolu açılarak %100 geçirgenlik (sıfır absorbans) ayarı yapılır. Aynı dalga boyunda analit içeren çözeltinin absorbansı ölçülür.

Çift ışık yollu cihazlarda (Şekil 4b) her dalga boyu için ayrı ayrı 0 ve 100 ayarları yapmak yerine, monokromatörden çıkan ışık eşit şiddete iki demete bölünerek birinin ölçülecek örneğe diğerinin çözücünün bulunduğu kaba gönderilmesiyle ölçüm süresi azaltılır. Böylece örnekteki geçirgenlik değeri sürekli olarak çözücününki ile karşılaştırılmış olur.

Işık Kaynakları

UV ve GB de döteryum, W, H_2 , Civa buhar ve Xe lambası gibi sürekli ışık kaynakları kullanılır. Tungsten (W) lambası görünür ve yakın IR arasında ışık yayar. Elektrik akımı ile ısıtılan tungstenden yayılan ışık bir siyah cisim ışıması olup,

320 nm ile 3000 nm arasındaki bölgeyi kapsar. UV bölgede en çok kullanılan (180-380 nm) hidrojen ve döteryum elektriksel boşalım lambalarıdır. Düşük basınçta (5 mmHg) H₂ veya D₂ gazı içeren bu lambalarda 40 V'luk doğru akım uygulanarak elektriksel boşalım elde edilir. Xe ark lambası 150-700 nm de ışık yayar. Civa buhar lambası her iki bölgede de ışımaya yarar.

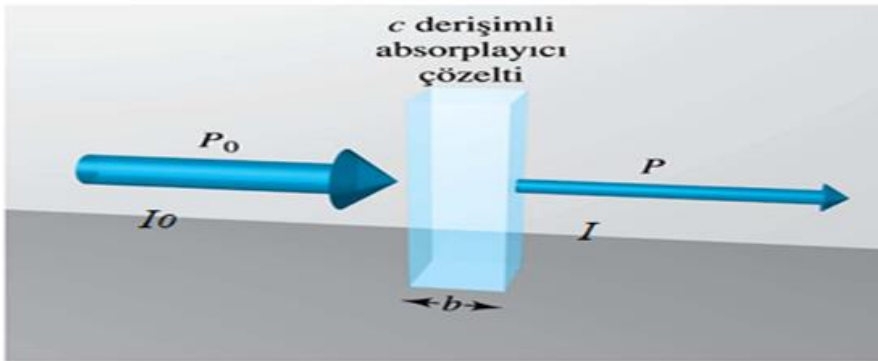
Monokromatörler

UV/GB de monokromatör olarak prizma veya optik ağ kullanılır.

Dedektörler

Dedektör olarak, fotoçoğaltıcı tüp veya fotovoltajik tüp kullanılır.

Yöntemle, Şekil 3'teki gibi dalga boyu taraması yapılarak elde edilen spektrumlardan nitel bilgi elde edilir. Aynı çözeltinin farklı derişimlerine karşı absorpsiyon grafiğinden de nicel bilgi edilir (Şekil 7b). Nicel tayin için öncelikle moleküler türün hangi dalga boyunda en fazla absorpsiyon yaptığı belirlenir. O dalga boyunda farklı derişimlerde absorpsiyonlar ölçülür. Nicel hesaplamalar aşağıdaki denklemlerle yapılır.



$$T = \frac{P}{P_0} = \frac{I}{I_0}$$
$$A = \log \frac{P_0}{P} = \log \frac{I_0}{I} = \epsilon b c$$

A; absorpsiyon, b; ışık yolu(cm), C; derişim(mol/L) ise ϵ (molar absorpsiyon katsayısı) L/mol.cm).

C. DENEY ; Tek ve İki Bileşenli karışımda krom ve mangan tayini

Cihaz ve malzemeler:

- Spektrometre
- Manyetik Karıştırıcı
- Tartım cihazı
- Beher
- Ölçülü balon
- Kıskaç
- Kuvars hücre
- Cr(NO₃)₃ katısı
- K₂Cr₂O₇ katısı
- KMnO₄ katısı
- Deiyonize su
- Derişimi bilinmeyen, toplam hacmi verilen [K₂Cr₂O₇ + KMnO₄] çözeltisi

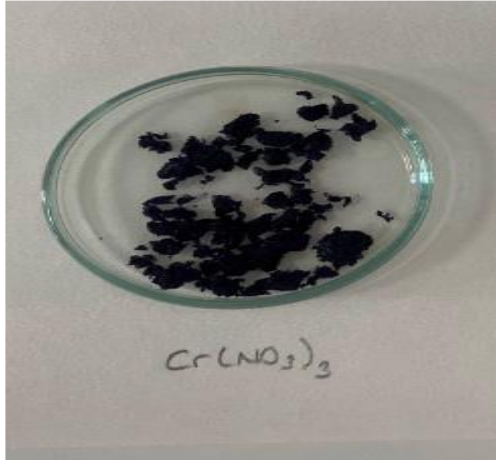


Şekil 5: Moleküler Absorpsiyon Spektrometresi

1. İŞLEM

1.1 Tek Bileşenli Numune Analizi

Stok 0,0500 M $\text{Cr}(\text{NO}_3)_3$ hazırlanır ve seyreltme ile; 0,0100 M; 0,0200 M; 0,0300 M ve 0,0400 M Cr^{3+} çözeltileri hazırlanır (Şekil 6 b). Metin içinde var olan şekillere atıf olmalıdır.



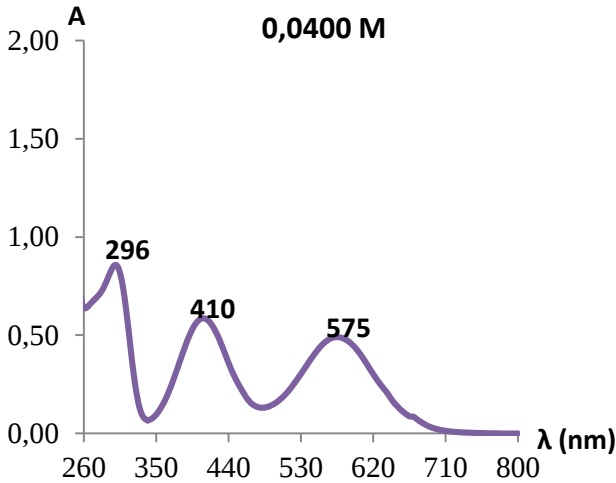
(a)



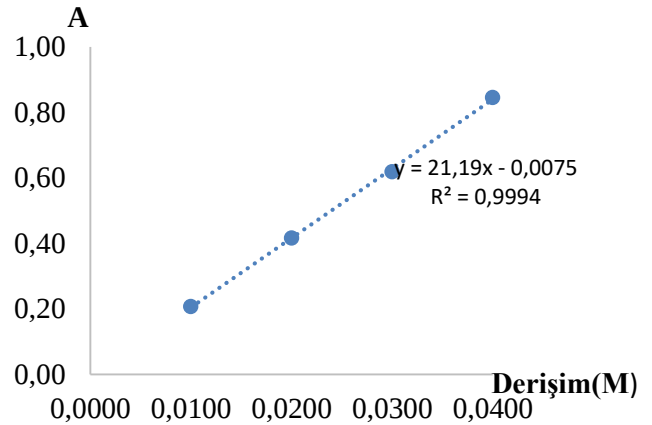
(b)

Şekil 6. a-Mor renkli $\text{Cr}(\text{NO}_3)_3$ katısı, b-Farklı derişimlerdeki $\text{Cr}(\text{NO}_3)_3$ çözeltileri

1.1.1. Absorpsiyon dalga boyunun belirlenmesi: Cihazın ışık geçmediği durum için %0 absorbans ayarı, çözücü ile de %100 geçirgenlik ayarı yapılır. 0,0400 M Cr^{3+} çözeltisi hücreye konur ve 260 nm'den 800 nm'ye kadar dalga boyu taraması yapılarak en yüksek absorbansın olduğu dalga boyu (296 nm) belirlenir (Şekil 7a).



Şekil 7: $\text{Cr}(\text{NO}_3)_3$ çözeltisinin, a-Absorbans-Dalga boyu grafiği,



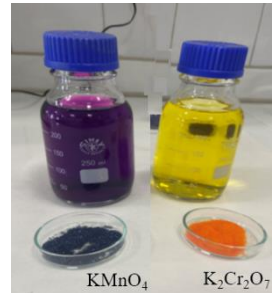
b- Kalibrasyon grafiği

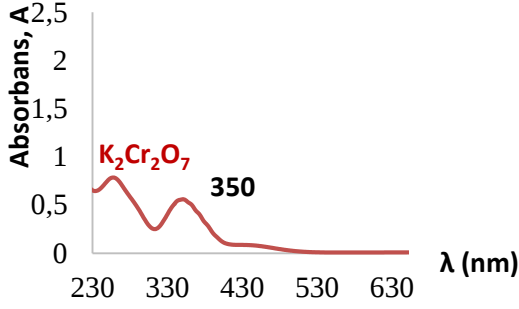
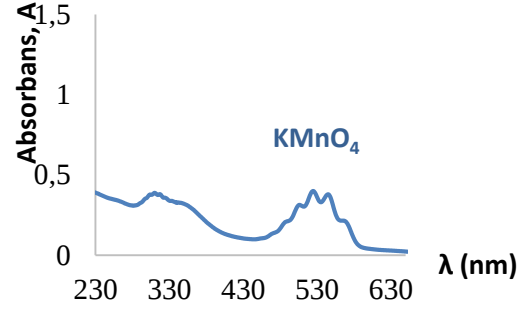
1.1.2. Kalibrasyon grafiğinin oluşturulması: En fazla absorpsiyon yaptığı dalga boyunda, 0,0100 M; 0,0200 M, 0,0300 M, 0,0400 M Cr^{3+} ve derişimi bilinmeyen çözeltilerin absorbans değerleri okunur ve derişime karşı absorbans değerleri grafiğe geçirilir (Şekil 7b). Derişimi bilinmeyen çözeltinin Absorbansı kullanılarak derişimi kalibrasyon grafiği yardımıyla bulunur.

1.2. İki Bileşenli Bir Karışımın Analizi, $\text{K}_2\text{Cr}_2\text{O}_7$ ve KMnO_4 Tayini

0,0005 M'lık $\text{K}_2\text{Cr}_2\text{O}_7$ ve 0,0005 M'lık KMnO_4 çözeltileri hazırlanır.

1.2.1. $\text{K}_2\text{Cr}_2\text{O}_7$ ve KMnO_4 çözeltilerinin Absorpsiyon dalga boylarının belirlenmesi: Öncelikle en fazla absorpsiyon yaptığı dalga boyunu belirlemek amacıyla 0,0005 M $\text{K}_2\text{Cr}_2\text{O}_7$ çözeltisinin dalgaboyu taraması yapılır Şekil 8a'daki spektrum elde edilir. $\text{K}_2\text{Cr}_2\text{O}_7$ 'nin en fazla absorbansın olduğu dalga boyu belirlenir. Benzer şekilde 0,0005 M KMnO_4 çözeltisi kullanılarak KMnO_4 'ün en fazla absorpsiyon yaptığı dalga boyu belirlenir (Şekil 8b).

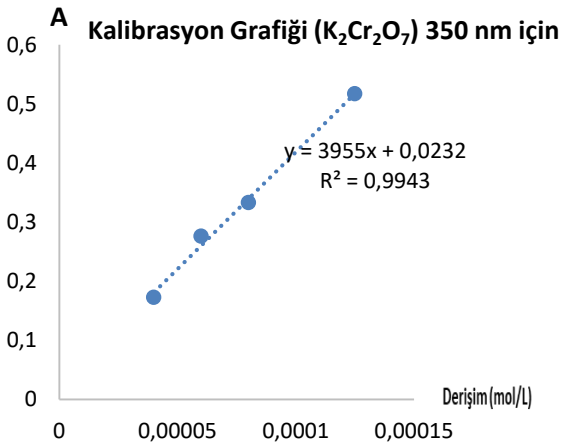
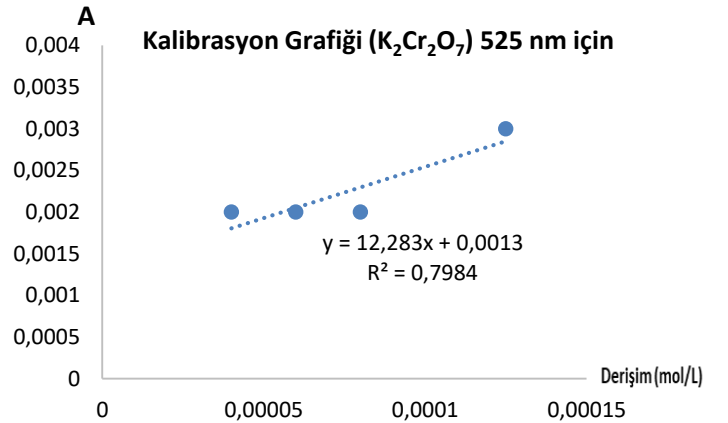


Şekil 8a. $K_2Cr_2O_7$ çözeltisinin A/dalga boyu grafiğiŞekil 8b. $KMnO_4$ çözeltisinin A/dalga boyu a

1.2.2. $(Cr_2O_7^{2-})$ ve (MnO_4^-) 'ün Molar Absorpsiyon Katsayılarının Belirlenmesi

Kalibrasyon standartı için, $4,0 \times 10^{-5}$ M, $6,0 \times 10^{-5}$ M, $8,0 \times 10^{-5}$ M, 12×10^{-5} M'lık $K_2Cr_2O_7$ çözeltileri hazırlanır ve bu çözeltilerin belirlenen dalga boylarındaki (350 ve 525 nm de) absorbans değerleri okunur ve kaydedilir. Bu değerlerden yararlanılarak kalibrasyon grafiği oluşturulur. Kullanılan hücrenin ışık yolu 1 cm olduğundan Şekil 9a ve 9b'deki kalibrasyon doğrusunun eğiminden $Cr_2O_7^{2-}$ 'nin iki farklı dalgaboyunda molar absorpsiyon katsayıları (ϵ' ve ϵ'') bulunur.

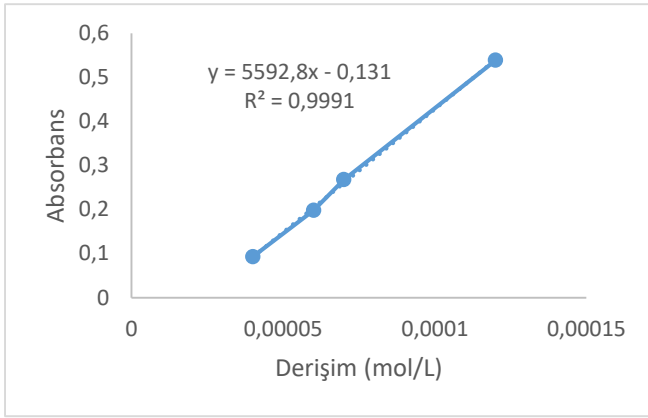
Standart $Cr_2O_7^{2-}$ çözeltisi Derişimi (M)	$A'_{(350 \text{ nm})}$	$A''_{(525 \text{ nm})}$
$4,0 \times 10^{-5}$	0,173	0,002
$6,0 \times 10^{-5}$	0,276	0,002
$8,0 \times 10^{-5}$	0,333	0,002
12×10^{-5}	0,517	0,003

Şekil 9. $K_2Cr_2O_7$ çözeltisinin (a) 350 nm'de

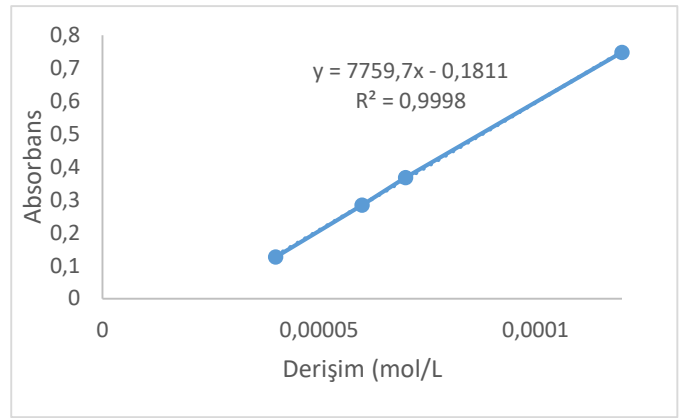
(b) 525 nm'de elde edilmiş kalibrasyon grafikleri

Benzer şekilde, $4,0 \times 10^{-5}$ M, $6,0 \times 10^{-5}$ M, $8,0 \times 10^{-5}$ M, 12×10^{-5} M M'lık $KMnO_4$ çözeltileri hazırlanır ve bu çözeltilerin belirlenen dalga boylarındaki (350 ve 525 nm de) absorbans değerleri okunur, kaydedilir. Bu değerlerden yararlanılarak kalibrasyon grafiği oluşturulur. Kullanılan hücrenin ışık yolu 1 cm olduğundan Şekil 10 daki doğrunun eğiminden MnO_4^- 'nin iki farklı dalgaboyunda molar absorpsiyon katsayıları (ϵ' ve ϵ'') bulunur.

Standart MnO_4^- çözeltisi Derişimi (M)	$A'_{(350 \text{ nm})}$	$A''_{(525 \text{ nm})}$
$4,0 \times 10^{-5}$ M	0,093	0,126
$6,0 \times 10^{-5}$ M	0,198	0,284
$8,0 \times 10^{-5}$ M	0,268	0,368
12×10^{-5} M	0,539	0,748



Şekil 10. $KMnO_4$ çözeltisinin (a) 350 nm'de



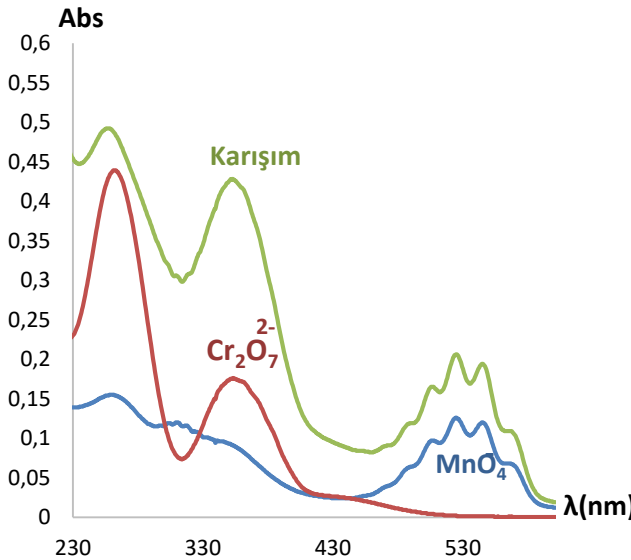
(b) 525 nm'de elde edilmiş kalibrasyon grafikleri

1.3. Absorbansın toplanabilirliğinin gözlenmesi

1.3.1. Karışımın Absorpsiyon Spektrumu: 0,0050 M'lık $K_2Cr_2O_7$ ve 0,0050 M'lık $KMnO_4$ çözeltilerinden 5'er mL alınarak bir karışım hazırlanır. Karışımın dalgaboyu taraması yapılır. Şekil 8a ve 8b de gözlenen absorbans eğrilerinin toplamı bir eğri gözlenir (Şekil 11).

1.3.2. Karışımın Absorbansının ölçülmesi

En fazla absorpsiyon yaptıkları dalga boylarında karışımın 2 absorbans değeri okunur; A_T ve A_T' olarak kaydedilir. Şekil 9 ve 10'dan hesaplanan ϵ değerleri kullanılarak 350 nm'deki $\epsilon'_{(MnO_4^-)} \cdot b \cdot C_{(MnO_4^-)} + \epsilon'_{(Cr_2O_7^{2-})} \cdot b \cdot C_{(Cr_2O_7^{2-})}$ toplamı hesaplanır ve A_T' ile karşılaştırılır. Benzer işlem A_T'' için de yapılır. 525 nm'deki $\epsilon''_{(MnO_4^-)} \cdot b \cdot C_{(MnO_4^-)} + \epsilon''_{(Cr_2O_7^{2-})} \cdot b \cdot C_{(Cr_2O_7^{2-})}$ toplamı hesaplanır ve A_T'' ile karşılaştırılır. Böylece absorbansın toplanabilir bir büyüklük olduğu anlaşılır.



Şekil 11 $KMnO_4$, $K_2Cr_2O_7$ karışımının absorpsiyon spektrumu

(Bilinen karışım)	A_T' (350 nm)	A_T'' (525 nm)
Ölçülen değer	0,43	0,18
Hesaplanan değer (MnO_4^-)	$\epsilon'_{(MnO_4^-)} \cdot b \cdot C_{(MnO_4^-)}$	$\epsilon'_{(Cr_2O_7^{2-})} \cdot b \cdot C_{(Cr_2O_7^{2-})}$
Hesaplanan değer ($Cr_2O_7^{2-}$)	$\epsilon''_{(MnO_4^-)} \cdot b \cdot C_{(MnO_4^-)}$	$\epsilon''_{(Cr_2O_7^{2-})} \cdot b \cdot C_{(Cr_2O_7^{2-})}$

1.4. Bilinmeyen derişimdeki Karışımın derişiminin bulunması

Absorbansın toplanabilir olmasından yararlanılarak iki farklı dalga boyundaki absorbans değerleri bikromat ve permanganat iyonu derişimlerine bağlı olarak aşağıdaki şekilde yazılabilir. Böylece 2 bilinmeyenli 2 eşitlik elde edilmiş olur.

$A_T' = \epsilon_M' b C_M + \epsilon_N' b C_N$ λ' dalgaboyunda ölçülür.

$A_T'' = \epsilon_M'' b C_M + \epsilon_N'' b C_N$ λ'' dalgaboyunda ölçülür

2 bilinmeyenli iki denklem çözülerek derişimi bilinmeyen karışımın dikromat ve permanganat türlerinin derişimleri bulunur.

(Bilinmeyen numune)	$A_T' (350 \text{ nm})$	$A_T'' (525 \text{ nm})$
Karışım $\text{Cr}_2\text{O}_7^{2-} + \text{MnO}_4^-$		



Karışım çözeltisi
 $C_{\text{MnO}_4^-} = ?$ $C_{\text{Cr}_2\text{O}_7^{2-}} = ?$

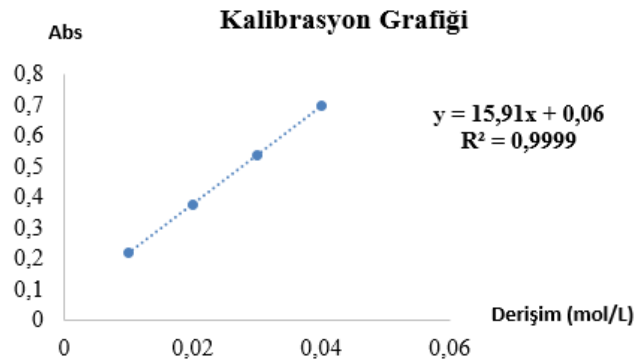
D. ÇALIŞMA SORULARI

- 1- Uygulamada UV-GB spektroskopisi ile hangi tür bileşiklerin tayini yapılamaz?
- 2- Deneyde kullandığınız çözeltilerin hangi ışınları absorplayıp hangi ışınları geçirdiğini bulunuz?
- 3- Aşağıdaki ışınları artan enerji sırasına göre sıralayınız.

- i- UV bölgesi
- ii- Görünür bölge
- iii- Vakum UV bölgesi
- iv- IR bölgesi

4-

Cr^{3+} Derişimi (M)	Absorbans (410 nm)
0,0100	0,220
0,0200	0,378
0,0300	0,535
0,0400	0,698
$C_{\text{Cr}^{3+}} = ?$	0,459



Kalibrasyon grafiğinden yararlanarak absorbans değeri 0,459 olarak okunan bilinmeyen numunenin derişimini bulunuz.

5- Paslanmaz çelik içeren bir numune, krom ve mangan bakımından analiz edilmek isteniyor. 0,5770 gramlık numune asitte çözülerek krom (51,996 g/mol) dikromata ($\text{Cr}_2\text{O}_7^{2-}$) ve mangan (54,938 g/mol) ise permanganata (MnO_4^-) yükseltgeniyor. 1 Litreye seyreltilen numuneden alınan örneklerin absorbansları ölçülüyor ($b=1 \text{ cm}$).

$\lambda(\text{nm})$	A_T	$\epsilon(\text{Cr}_2\text{O}_7^{2-})$	$\epsilon(\text{MnO}_4^-)$
350	0,348	369	95
525	0,504	11	2350

$$A_{350} = \epsilon(\text{Cr}_2\text{O}_7^{2-}) \times C(\text{Cr}_2\text{O}_7^{2-}) + \epsilon(\text{MnO}_4^-) \times C(\text{MnO}_4^-) \quad (1)$$

$$A_{525} = \epsilon(\text{Cr}_2\text{O}_7^{2-}) \times C(\text{Cr}_2\text{O}_7^{2-}) + \epsilon(\text{MnO}_4^-) \times C(\text{MnO}_4^-) \quad (2)$$

1 ve 2 numaralı eşitliklerden yararlanarak Cr derişimini kütlece % cinsinden bulunuz.

F) KAYNAKLAR

- [1] D. A. Skoog, D. M. West, F. J. Holler, S. R. Crouch, Fundamentals of Analytical Chemistry, 8. Edition, 2004. Çeviri editörleri: E. Kılıç, H. Yılmaz. Analitik Kimya Temel İlkeler. 8. Baskı. 2011, Ankara.
- [2] D.C. Harris, Nicel Kimyasal Analiz, 8. Baskı, Çeviri Editörü: A. R. TÜRKER, Palme Yayıncılık. 2015, Ankara.
- [3] D.A. Skoog, F.J. Holler, S.R. Crouch Enstrümental Analiz, 2007, 6. Edition, Çeviri editörleri: E. Kılıç, H. Yılmaz, Bilim Yayıncılık, 2013, Ankara.