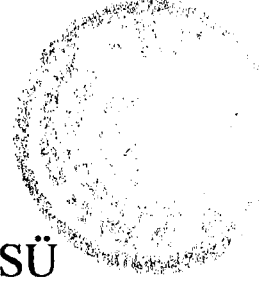


84706

T.C.

GEBZE YÜKSEK TEKNOLOJİ ENSTİTÜSÜ
MÜHENDİSLİK VE FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ



LASER SPECTROSCOPY YARDIMIYLA SU
KİRLİLİĞİNİN KONTROL EDİLMESİNİN
PRENSİPLERİ

Zehra SARAÇ
YÜKSEK LİSANS TEZİ
ELEKTRONİK ANABİLİM DALI

TEZ DANIŞMANLARI

Yrd.Doç.Dr.Dmitrii DVORNIKOV

Yrd.Doç.Dr.Ertuğrul KARAÇUHA

**T.C. YÜKSEKÖĞRETİM KURULU
DOKÜMANTASYON MERKEZİ**

GEBZE

1999

Bu tez çalışması, G.Y.T.E. Mühendislik ve Fen Bilimleri Enstitüsü Yönetim Kurulu'nun ..27/08/1999.. tarih ve ..99/125.. sayılı kararıyla oluşturulan jüri tarafından ELEKTRONİK MÜH. Anabilim Dalında YÜKSEK LİSANS tezi olarak kabul edilmiştir.

JÜRİ

ÜYE
(Tez Danışmanı)

: Y. Doç. Dr. Ertuğrul Karacuha
Elazacı

ÜYE

: Doç. Dr. Necati Erciit
[Signature]

ÜYE

: Y. Doç. Dr. Murat Emin
Murat Emin

ONAY

G.Y.T.E. Mühendislik ve Fen Bilimleri Enstitüsü Yönetim Kurulu'nun
13/09/1999... tarih ve 99/122... sayılı kararı.

İmza / Mühür
[Signature and Stamp]

ÖZET

Dünya nüfusu gittikçe artmaktadır. Teknolojik gelişme duraksamadan devam etmektedir. Sonuç olarak su çevresi bozulmaktadır. Su kirliliği kademeli olarak artmaktadır. Hatta günümüzde bu kirlilik aşırı olarak arttı. Bugün insanlar içme suyu olarak musluk suyunu kullanamaz duruma gelmiştir. İnsanlar kullanılan su kaynaklarına şüphe ile bakmaktadır. Gelecekte su tüketiminin artacağını göz önüne alırsak, Temiz içme suyu bulmak gittikçe daha zor olacaktır. O zaman su kirliliğini kontrol edecek deteksiyon işlemlerine ivedi bir şekilde ihtiyacımız vardır. Aksi takdirde öyle bir yerde ve zamanda hazırlıksız yakalanırız. Su insan yaşamı için temel kaynaktır. Bunun için bir an önce ölçüm önlemleri almalıyız.

Organik maddeler tarafından yaratılan su kirliliği tam anlamıyla su ekosisteminin korunması ve içme suyu kaynakları ile ilgili en kritik problemlerden biridir. Belirlenen kimyasal maddelerin limitlendirilmiş miktarlarının kontrol edilmesi su kirliliğinin tam durumunu yansıtmaz. Belediye su kaynak sistemi ve içme amaçlı sular için su kalitesinin kontrol edilmesi ve su kullanımının genel olasılığını belirleme daha önemlidir. Burda laser fluorimetrisi yardımıyla su kalitesini kontrol ederek elde ettiğimiz sonuçları veriyoruz. Su örnekleri Gebze'nin belediye su kaynak sisteminden ve özel içme suyu kaynaklarından alınmıştır. İçme suyu kalitesinin temel ışınım spektrası çıkarılmıştır. Kaynatılmış olarak gösterilen sinyal suda çözünen organik maddelerden dolayı azalmaz. Laser fluorimetri metodunun uzaktan yapılma olasılığını ve data işleminin ifadesini hesaba katarak su kaynaklarının kalite kontrolünde sistem etkin olarak kullanılabilir. Üstelik bugün TSE'de hala organik kirlilik ölçümünün hayata geçirilemediği dikkate alınırsa bu sonuçların genelde olsa bir fikir vermesi her açıdan faydalıdır. Ayrıca sistemi istediğimiz organik maddeye göre kalibre ederek ayrı ayrı organik madde kirlilik oranı ölçmekte mümkündür.

SUMMARY

The population of the world increases more and more on day by day. The technologic development continues as unhesitating. In this result, the environment of the water is destroyed. The water pollution increases gradually. This pollution increased so exceedingly, today people don't use the tap water as drinking water. People use using water sources hesitantly as well. If we take into consideration that in the future water consumption will be increased, To find clear drinking water will be hard more and more. Then necessary detection processes that are controlled water pollution must be found immediately. Otherwise we are caught unprepared such a place and time. The water is basic source for human-life. At once we must take preventive measures.

Water pollution by organic materials is one of the most critical problems concerning resources of drinking water and protection of the water ecosystem as a whole. Checking limited number of the chemicals that can be identified do not reflect the full situation of the water pollution. For the municipal water supply system and for the drinking purposes are more important to determine the general possibility of the water using and to have an express control of water quality. In this article we present our results of water quality checking by laser fluorimetry. The water samples was taken from the municipal water supply system of Gebze city (Turkey) and from the special service of the drinking water supply. On the bases of the luminescence spectra the estimation of the drinking water quality has been made. Has been shown that the boiling treatment do not decrease the signal from the dissolved organic materials. Taking into account the expresses of data processing and the possibility of remote probing the method of the laser fluorimetry can be effectively used in systems for the quality control of water sources. Furthermore today it is taken into consideration that it hasn't still been measured organic water pollution in TSI, these results is benefit generally to give meaning. Moreover calibrating the system according to be desired organic substances, we can possibility measure separately the rate of organic water pollution.

TEŞEKKÜR

Yüksek Lisans yapmama vesile olan ve nihayetsiz yardımları ile her zaman beni desteklemiş olan çok kıymetli hocam Yrd.Doç.Dr.Ertuğrul KARAÇUHA beyefendi'ye, tez danışmanım olan Yrd.Doç.Dr.Dmitrii DVORNİKOV beyefendi'ye, ayrıca yapmış oldukları çalışmalarla tezimi desteklemiş olan Yrd.Doç.Dr.Sergey POPOV ve Yrd.Doç.Dr.Anatoly SİMİNEL beyefendilere yine tezimin mesleğimin dışında olan kısımlarında bana hep yardımcı olmuş olan çevre bölümünden Yrd.Doç.Dr.Salim ÖNCEL ve Yrd.Doç.Dr.Mehmet KOBYA beyefendilere fizik bölümünden Doç.Dr.Necati ECEVİT beyefendi'ye ve yine fizik bölümünden çok kıymetli arkadaşım uzman fizikçi Gülay BİRKÖK hanımefendi'ye aynı zamanda kardeşim olan uzman fizikçi Hülya SARAÇ hanımefendi'ye, tabii ki son olarak sabırlarından dolayı GYTE'nün ve ailemin tüm fertlerine özellikle babam Ahmet SARAÇ beyefendi'ye ve annem Ayşe SARAÇ hanımefedi'ye medeniyet için, ilim için ve fen için teşekkür ederim.



İÇİNDEKİLER

	SAYFA
ÖZET	IV
SUMMARY	V
TEŞEKKÜR	VI
İÇİNDEKİLER DİZİNİ	VII
SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ	VIII
ŞEKİLLER DİZİNİ	XII
ÇİZELGELER DİZİNİ	XIV
1 GİRİŞ	1
1.1 .Su Kaynakları, Hidrolojik Çevrim ve Su Elde Edebilme	4
1.2 .Su Kirliliğinin Kaynakları	7
1.3 .Kirleticilerin Tipleri ve Çeşitleri	10
1.4 .Su Kirliliğinin İnsan Sağlığı Üstündeki Etkisi	24
1.5 İçme Suyu Standartları (TSE'ye göre)	26
1.6 .Su Arıtma İşlemleri	29
1.7 .Organik Su Kirlilik Ölçümleri için Diğer Metodlar	33
2 MATERYAL METOD	41
2.1 Metod	41
2.2 Materyal	66
3 TARTIŞMA	79
4 SONUÇ	82
KAYNAKLAR	84
ÖZGEÇMİŞ	87
EKLER	
EK 1. Diğer İçme Suyu Parametreleri İçin Standartlar.	

SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ

ÇOM	Çözünen Organik Madde
RS	Raman Saçılımı
mg/L	Miligram/litre
g/L	Gram/litre
UV	Ultraviolet: Morötesi
kJ/mol	kilojoule/mol
HS	Humic substances: İnsansal maddeler
AOXs	Adsorbable organic halogens: Adsorb edilebilir organik halojenler
THMs	Trihalomethanes: Üç halojenli metan.
USA	Amerika Birleşik Devletleri
PCBs	Polychlorinated biphenyls: Poli klorlanmış benzen olan bifenil
PCTs	Polychlorinated terphenyls: Poli klorlanmış benzenolan terfenil
PCDDs	Polychlorinated dibenzo-o-dioxins: Poli klorlanmış di benzo dioksinler
PAHs	Polynuclear aromatic hydrocarbons: Çoklu nükleer aromatik hidrokarbonlar
µg/l veya L	Mikrogram/litre
AI	Antotrophic index: Antotrofik indeks.
Bq	Bekerel
TLVs	Eşik Limit Değerleri
TSE	Türkiye Standartlar Enstitüsü
GL	Klavuzluk Eden Seviyeler
MAC	Maksimum İzin Verilebilir Konsantrasyon
BOT	Biyolojik Oksijen talebi
ATU	Allyl thiourea
KOT	Kimyasal Oksijen Talebi
TOK	Toplam Organik Karbon
ÇOK	Çözünen Organik Karbon
ÇNOK	Çözünmeyen Organik Karbon
TOT	Toplam Oksijen Talebi
KKE	Karbon Kloroform Ekstraktı

KAE	Karbon Alkol Ekstraktı
GK	Gaz Kromatograf
HPSK	Yüksek Performanslı Sıvı Kromatograf
KKKS	Kütle Spektrometrisi ile Kuplajlanan Kromatograf
EI	Kütle Spektrası
IR	Infrared: Kırmızıötesi
NMR	Nükleer Magnetik Rezonans
RF	Radyo frekans
C NMR	Karbonlu Nükleer Magnetik Rezonans
H	Magnetik Alan Şiddeti
J	Akım Yoğunluğu
D	Yer Değiştirme Vektörü
E	Elektrik Alan
B	Magnetik İndüksiyon
ρ	Serbest Taşıyıcı Yük Yoğunluğu
t	Zaman
V	Gradyant Vektörü
P	Birim Hacim Başına Elektrik Dipol
ϵ_0	Uzayın Permitivitisi
M	Birim Hacime Düşen Magnetik Dipol
μ_0	Serbest Uzayın permeabilitisi
ϵ	Vakumdan Farklı Diğer Bir Ortamın Elektriksel Permitivitiliği
μ	Vakumdan Farklı Diğer Bir Ortamın Magnetik Permeabilitisi
k	Dalga Sayısı
λ	Dalga Boyu
ω	Açısal Frekans
ν	Dalga Frekansı
A	Einstein Katsayısı
τ_{sp}	Kendiliğinden Yayınım Ömrü
W_{21}	Uyarılmış Geçiş Olasılığı
σ_{21}	Uyarılmış-Yayınım Ara Kesiti

F	Gelen Dalganın Foton Akısı
W_{12}	Absorpsiyon Geçiş Olasılığı
N_1	Bir seviyesinin Atom Sayısı
N_2	İki seviyesinin Atom Sayısı
σ_{12}	Absorpsiyon Ara Kesiti
μ_e	Atomun Elektrik Dipol Momenti
μ_m	Atomun Magnetik Dipol Momenti
H	Hamilton etkileşimi
Ψ	Atomun Dalga Fonksiyonu
u_1 ve u_2	Eigen fonksiyonları
μ_{21}	Elektrik Dipol Momenti
N_t	Toplam atom sayısı
S	Yatay Kesitsel Alan
α	Absorpsiyon Katsayısı
g	Kazanç Katsayısı
P	Toplam Güç
I_s	Doyum Yoğunluğu
q_x	Saçılan Dalga Vektörü
θ	Saçılma Açısı
χ	Elektrik Hassaslık
P_e	Elektrik Polarizasyon
α_e	Elektrik Polarizeedilebilirlik
v	Saçılma Hacmi
V	Örnek Hacim
η	Kırılma İndeksi
Y	Saçılma Verimliliği
p	Elektron Momentum Operatörü
X	Vektör Potansiyeli
Γ	Simetri İfadesi
Q	Polarize Edilmezlik Oranı
χ'	Hassaslık Türev Tensörü

MDR Morfoloji-Bağımlı Rezonans

N_{PL} , N_{RS} Sırasıyla Kirlilik Işınımının ve Raman Saçılımının Dedekte Edilen Fotonlarının Sayısıdır.

Φ_0 Geometrik Olarak Ölçülen Sinyal Spektrumunda Kendi Bandının Çevresi Altındaki Alanların Bölünmesiyle Bulunabilir.

I Işınımın Doyma Faktörüdür.

σ_{RS} , σ_{PL} Sırasıyla Kirlilik Molekülleri ve Çözücü Moleküller ile Laser Işınımının Etkileşme İşleminin Olduğu Ara Kesit.

η_{RS} Çözücü Moleküllerin Konsantrasyonu

ξ Raman Saçılımı ve Işınımının Dalgaboylarıyla İlgili Olan Parametrelerin Oranını İçine Alan Gauge Faktörü

PL Fotoluminans(Fotoışınım)

Z Deşarj Kanalıının Empedansı

Z_0 Hattın Karakteristik Empedansı

V Elektrikte voltaj olarak kullanılır

FM Fotomultiplier

VIS Görünür Bölge

NIR Kırmızıötesine yakın

N_v Vuruların Ortalaması

SPM Prizma Monokromatör

GYTE Gebze Yüksek Teknoloji Enstitüsü

ŞEKİLLER DİZİNİ

Şekil	Sayfa
1.1. Türkiye'nin Su kaynakları	2
1.1.1. Hidrolojik Çevrim	5
1.7.1. Fluorimetri spektrumu	38
2.1.1. S ara kesite sahip bir hüzmeye atomların etkin absorpsiyon ara kesiti	50
2.1.2. Artmakta olan yoğunluk değerleri için ω' frekansına karşı düşen homojen çizgi absorpsiyon katsayısının doyum davranışı	54
2.1.3. Homojen olmayan sınırlandırılmış çizginin doyum davranışı	55
2.1.4. Frekansa karşı düşen absorpsiyon katsayısı artan yoğunluk $I(\omega)$ ile artmakta olan delik derinliğini gösterir	55
2.1.5.	
(a) Enerji seviyeleri	58
(b) a'dan c'ye kendiliğinden oluşan Raman saçılımının geometrisi	58
2.1.6. Titreşimsel Raman saçılımında	
(a) CCl_4 zerrecikleri ν_1 modu için birkaç yüksek dereceli Stokes çizgisi gösterir	64
(b) Sıvı CCl_4 ilk sırada kuvvetli bir peak ikinci sırada zayıf bir peak verir	62
2.2.1.	
(a) Bir iletim hattı kullanan Blumlein darbe üretici deşarj yönü boyunca deşarj kanalı, 2×0.5 cm boyutlarında olabilir	67
(b) Blumlein üreticinin iletim hat analogisi	67
2.2.2. Fotomultiplier'in yapısı	69
2.2.3. İki fotomultiplier'in karşılaştırılması	
(a) Side-on fotomultiplier	69
(b) Head-on fotomultiplier	69
2.2.4. Farklı fotokatodlar için spektral duyarlık eğrileri	70
2.2.5. Bir monokromatörün yapısı	71
2.2.6. UG11, BG39, VG4, GG19 renklendirilmiş cam filtreler için iletim eğrileri	71
2.2.7. Yarıiletkenlerde, hem elektronlar hemde delikler, elektron-delik çiftlerinden daha fazla iyonize etkisi gösterebilirler	73
2.2.8. Çığ fotodiyodunun yapısı	73

2.2.9. SR250 Gated Integratorun uygulama örneği

2.2.10. Lazer Çıkışı

75

2.2.11. Beklenen Çıkış

75

2.2.12. SR250 Gated Integrator (Boxcar Integrator)

76

2.2.13. Deney düzeneğinin şeması

77

3.1. Su kaynaklarının fotoışınım spektrumu

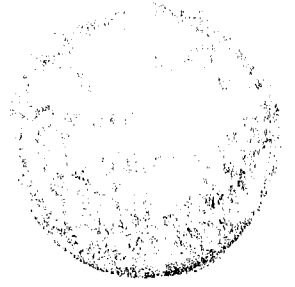
79



ÇİZELGELER DİZİNİ

Çizelge	Sayfa
1.5.1. Suda Fazla miktarda Bulunması İstenmeyen Maddeler(TSE)	27
1.5.2. Toplam Bakteri Sayısı (TSE)	27-28
1.5.3: Toksik Maddeler (TSE)	28
1.5.4: Mikrobiolojik Özellikler (TSE)	29





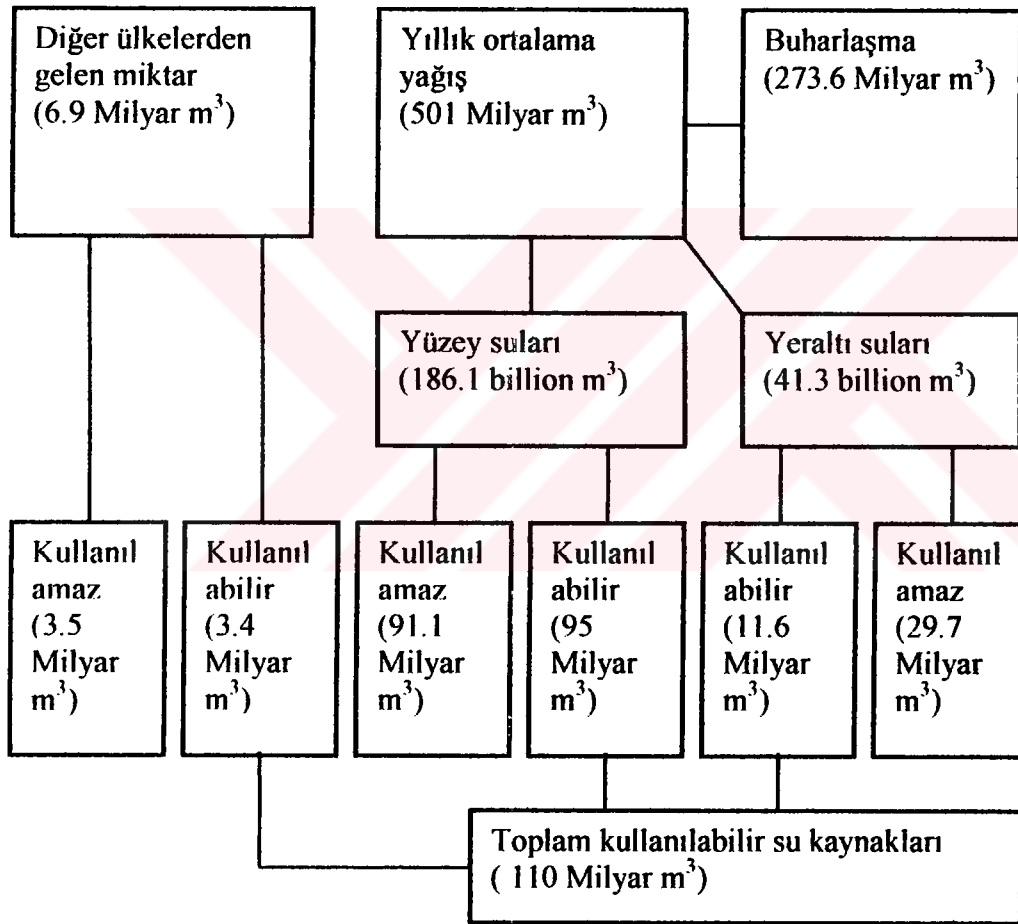
1 GİRİŞ

Bu tezde organik su kirliliği spektral olarak değerlendirilir. Tezin içeriğine bakılacak olursa, ilk olarak su kaynakları, hidrolojik çevrim ve su elde edebilme verildi; sonra su kirliliğinin kaynakları, kirleticilerin tipleri, su kirliliğinin insan sağlığı üstündeki etkileri, içme suyu standartları, su arıtma işlemleri, su kirlilik ölçümleri, organik su kirliliğini ölçmenin diğer metodları açıklandı. Ayrıca, materyal ve metod kısmı alt başlıklar verilerek açıklandı. Son olarak, deneysel sonuçlar tartışıldı ve öneriler yapıldı.

Çevre kavramı su, toprak, ve havadan oluşur. Yeryüzünde katı, sıvı ve gaz halinde bulunan su, güneşin sağladığı enerji ile kesintisiz bir çevrim içindedir. İnsanlar gerekli aktiviteleri için gerekli suyu bu döngüden sağlarlar. Bu suyu kullandıktan sonra, aynı çevrime geri verirler. Bu çevrim içerisinde, insan aktiviteleri, sanayi ve tarımsal faaliyetler sonucu suya karışan maddeler, suların fiziksel, kimyasal ve biyolojik özelliklerini değiştirerek su kirliliğine sebep olurlar.

Son zamanlarda su, bir zamanların nehir kıyılarında kurulan şehirlerindeki kadar ucuz bir kaynak değildir. Özellikle o, stratejik bir kaynak olmuştur. Su eksikliği, önümüzdeki yıllarda milli gelişme hızında petrol eksikliği kadar hissedilecektir. Gelecek yüzyılın ortasında dünya nüfusunun iki katına çıkarak 10 milyara ulaşacağı ve bugün varolan miktarda suyu paylaşacağı tahmin edilmektedir. UNEP (1987), Clarke (1991), Bulloch and Darwish (1994) “ Bir bölgedeki su ihtiyaçları, nüfus yoğunluğu, nüfus artışı, yaşam düzeyi, tarım ve endüstride verim artışı ve ekonomik kalkınma gibi faktörlere bağlıdır. Buna karşılık, akarsu, göl, yeraltı suyu, pınar deniz gibi su kaynaklarında kullanılabilecek su miktarı sınırlıdır. Ayrıca, hidrolojik çevrim içinde su hareket halinde olduğundan belirli bir yerde ve zamandaki miktarı da değişmektedir. “Viessman ve Hammer (1985), Ağırlioğlu (1993), Karpuzcu (1994)” Dünya’da toplam 1.4 milyar kilometreküp su olmasına rağmen, aslında bunun yaklaşık %97.4’ü tuzlu su, %2.6’sı tatlı sudur (Türkiye Çevre Bakanlığı -1993,1996).

Dünya’da olduğu gibi Türkiye’de de su kaynaklarına ihtiyaç duyulmaktadır ve bu gereksinim artmaktadır. Bunun yanında su kaynakları üzerindeki olumsuz çevre baskıları ne yazık ki giderek artmaktadır. İçme ve kullanma suyu temin eden baraj ve göllerimiz ev ve endüstriyel nitelikli atıklar yanında yerleşimden kaynaklanan yoğun yapılaşma baskısı altındadır. Türkiye’de su kaynakları ve onların durumu şekil 1.1’de verilir. Bizim denizlerimiz, göllerimiz, ırmaklarımız ve yeraltı sularımız evsel ve endüstriyel nitelikli atıklar yanında aşırı gübreleme ve bilinçsiz kullanılan zirai mücadele ilaçlarından olumsuz etkilenmektedir. Günümüzde gelişmekte olan ülkelerde tüm hastalıkların %80’i ve ölümlerin üçte biri kirli sulardan kaynaklanmaktadır(UNEP 1987).



Şekil 1.1: Türkiye’nin Su kaynakları [1]

İnsanların tükettiği su kalite çalışması büyük şehirlerde ve endüstriyel alanlarda çok önemli bir problemdir. Zehirli maddeler çok küçük miktarlarda olması

bile, bu su kaynaklarını tüm ekosistem ve insan sağığı için tehlikeli ve zararlı yapar. Dünya’da su kirliliğini kontrol etmek için çeşitli metodlar geliştirilmektedir.

Organik su kirliliğini kontrol etmenin birçok metodu vardır. Bunlar analitik, fiziksel, kimyasal, biyolojik, absorbtik ve gaz kromatografik metodlardır. Türkiye’de de TSE tarafından organik su kirliliğini tespit etmek için gaz kromatografik metod önerilmektedir. Ancak bu sistem çok yeni olup daha TSE tarafından hayata geçirilmemiştir. Çözünmüş organik madde (ÇOM) doğal su sistemlerinin önemli bir kısmıdır ve ekolojik durumu belirler. Bu yüzden çeşitli endüstriler ve teknolojik amaçlar için veya içme suyu olarak doğal suyu kullandığımız zaman, ÇOM kararlılığı ve konsantrasyonunu kontrol etmek için metod geliştirmenin önemi gittikçe büyümektedir.

Kirlilik ölçümleri, kontrolu ve optiksel ölçümler için farklı metodlar arasında ve tamamıyla fiziksel prensiplere dayalı özel Laser fluorimetry metodu diğerleri üzerinde bazı avantajlara sahiptir:

- Bir maddenin elektriksel sinyallerle etkileşmesi durumunda; onun hakkındaki bilgiyi taşıyan ışık sinyalinin etkin olarak dönüşümünün mümkün olduğu prensibe bağı kontrolu ifade eder. Böyle sinyallerin otomatik işleme girmesi geliştirilecek.
- Uzaktan kontrol etmeyi mümkün kılar. Çünkü ışık hem suda hemde atmosferde yayılır ve bu sınırlar arasında hareket eder. Bu yüzden herbir organik madde kirliliğı pratik olarak onun yansıma sinyali ile ifade edilir.
- Temelde foton sayma tekniğı ile yüksek hassasiyetli kirlilik deteksiyonu süper zayıf ışı nım sinyalinin deteksiyonunun olasılığına bağıdır.
- Her bir maddenin, uygun bir optik deteksiyon metodu bulunabildiğı için uluslararası bir karakter ihtiva eder.
- Yüksek hassasiyet, geniş bir aralıkta ışık dalga boyunun olası değışimine bağıdır. Çünkü herbir kimyasal madde kendi özel optik parametrelerine sahiptir.
- Tam olarak Raman saçılım sinyali (RS) fiziksel standartlar dahilindedir. Çünkü su moleküllerinin konsantrasyonu sabit bir değıdedir ve su sıcaklığında suyun yatay kesitindeki Raman saçılımına bağıdır ve bileşimi zayıftır. Bu yüzden normalleştirilirken, ışı nım ölçümlerinin sonuçları eksiksiz olur.

Laser fluorometri metodu, çözücü moleküllerin standartlara dahil edilen Raman saçılım sinyali ile çözünen maddenin ışınan sinyalinin kalibrasyonunun prensibine dayalıdır[2,3]. Raman saçılma sinyalinin normalleştirme işlemi fluorometri ölçümünün temelidir. Son günlerde bu metod yaygın olarak, deniz photoplanktonunun pigmentlerinin konsantrasyonunu belirlemede[4], su rezervlerindeki yağ kirliliğini kontrol etmede[5,6], mikroelektronik için teknolojik akışkanların saflığını kontrol etmede[7] ve şimdide bu metodu doğal suda çözünen organik maddelerin monitorlenmesi[8,9] için kullanılır.

Bu avantajlar metodu kullanmak için yeterlidir. Ayrıca bu metodu diğer metodlarla birlikte kullanmayı öneriyoruz. Çünkü o zaman sonuç mükemmel olarak elde edilebilecektir.

1.1 SU KAYNAKLARI, HİDROLOJİK ÇEVİRİM VE SU ELDE EDEBİLME

Bir su kaynağı bildiğimiz gibi yaşamı devam ettirmek için kriterdir. Su kaynakları aşağıdaki terimlere ayrılır.

- . Hidrolojik çevrim ve su elde edebilme
- . Yeraltı su kaynakları
- . Yeryüzü su kaynakları
- . Su iletimi

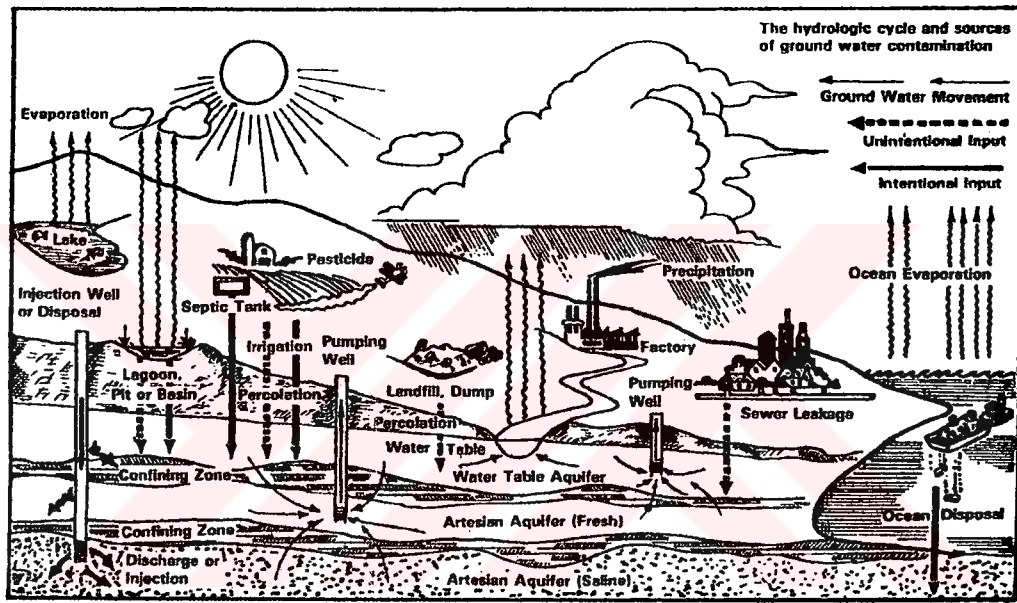
Hidrolojik çevrim ve Su elde edebilme

Hidrolojik çevrim su temini çalışması için yararlı bir başlangıç noktasıdır. Şekil 1.1.1 'de gösterilen bu çevrim, bulutlardan yağmura dönüşme, yeraltına sızma veya yeryüzü sularına akış, buharlaşma ve terleme ile suyun atmosfere geri döndürülmesini takip eden bir işlem zinciridir.

Yağış ve buharlaşma/terleme oranları insan tüketimi için mevcut suyun temelini belirlemeye yardım edebilir. Yağış yere düşen nemin tüm oluşumları için uygulanan terimdir, ve yağmur, kar, dolu ve sulusepken karın yoğunluklarını ve miktarını ölçmek için teknikler ve aletler geliştirilmektedir. Verilen bir bölge

üzerinde şiddetli bir sağanak üstünde, mevsimsel veya yıllık bazlı yağışın ortalama yoğunluğu çoğu su elde edebilme çalışmalarında gereklidir.

Buharlaşma ve terleme açık su yüzeylerinden ve bitki solunumundan atmosfere geri su hareketidir. Buharlaşmaya etki eden aynı meteorolojik faktörler terleme işlemine çalışmaktadır: solar ışıınım, atmosfer hava sıcaklığı, nemlilik, ve rüzgar hızı. Bitkiler için mevcut olan toprak rutubet miktarı da terleme oranını etkiler. Doğal su, hidrolojik çevrim sırasında suda çözülmekte olan çeşitli maddeler ve katı, sıvı, ve gazlar ile suyun reaksiyonları sonucu, kimyasal özellikler gösterir.



Şekil 1.1.1: Hidrolojik Çevrim.[10]

Değişik sular için bu kimyasal özelliklerin büyük farklılıklar gösterdiği bilinmektedir. Bu farklılıkların sebebi, taş-su-atmosfer arasındaki kimyasal reaksiyonlar ve suyun çevresel gelişimi göz önüne alındığı zaman kısmen açıklanabilir. Geçmişten modern zamanları ayıran şey, çevre üstündeki negatif etkimiz değildir, fakat bu etkinin şiddetidir. Teknolojilerimiz son derece güçlüdür ve nüfusumuz artmaktadır. Modern uygarlığın endüstrileri ve fabrikaları çok kısa zamanda büyük değişikliklere sebep olabilir.

Yoğun araştırmalara rağmen, yalnızca atmosfer, kara ve su arasında kimyasal kirliliklerin nasıl hareket ettiğini ve bu nakil sırasında onların nasıl davranarak hangi

dönüşümlere uğradıklarını kısmen anladık. Birkaç 1000-1500 yeni kimyasal madde her yıl belki günlük kullanılan 60.000 kimyasal ile fabrika edilir(OECD,1981). Bu kimyasalların çoğu organik kimyasallar ve pestisitlerdir. Kısımlandırma ve reaksiyonların tahmini oranları için son on yıldaki kalkınmadan bahsettik. Yalnızca dört parametre bilgisinden, biyolojik konsantrasyon, absorpsiyon, buharlaşma, fotoindirgenme ve tam kimyasal hidrolizdeki çoğu bileşikler için sabit oranlar tahmin edilebilir. Fakat , en önemlisi biyolojik dönüşüm hakkındaki küçük bir ilerlemeyi tartışılabilir bir şekilde, tahmini yaptık.

Yeraltı Su Kaynakları

Yeraltı suyu musluktan iyi bir şekilde akıtılan doğrudan sağlanan bir kaynaktır. Yüzey ırmakları çoğunlukla yeraltı sularından kaynaklandığı için, yeraltı suları önemli bir dolaylı kaynak kadar iyidir.

Yerin yüzeyine yakın, aeration zonunda, toprak gözenek boşlukları hem hava hem su içerir. Bataklık alanlarda sıfır kalınlığında ve dağlık bölgelerde birkaç yüz feet kalınlığında olabilen bu zon üç farklı tipte nem içerir. Bir fırtınadan sonra, yerçekimine bağlı olarak, su daha büyük toprak gözenek boşlukları arasından geçer. Doyma zonunda, aeration zonunun aşağısında bulunan, toprak gözenekleri su ile doldurulur ve bunu yeraltı suyu olarak adlandırırız, fakat genel olarak gözenek boşluklarını kapatan aşırı yük oluşturan malzemelerin ağırlığı yüzünden, küçük su 600 m'den (2000ft) daha fazla derinlikte bulunur.

Yeryüzü Su Kaynakları

Yeryüzü su kaynakları yeraltı su kaynakları kadar güvenilir değildir. Çünkü bir yıl veya bir hafta da bile önemli miktarlarda dalgalanma olur ve su kalitesi su kirlilik kaynaklarından etkilenir. Eğer bir nehir saniye başına ortalama 10 feet küplük bir akışa sahipse, bu her zaman 10 fks'ye su kaynaklarının kullanımı bağlı olacak demek değildir. Akıştaki değişim, çok büyük olabilir. Küçük talebi bile kuraklık süresi boyunca karşılamaz. Depolama aletleri yağışlı süreler boyunca su saklamak için kurulmalıdır.

Su İletimi

Su bir yeraltından veya yüzeyden ya doğrudan doğruya su kullanıcılarına ya da başlangıçta bir su arıtma tesisine, nakledilebilir. Farklı sevk etme tipleri ile su taşıma sisteminde bulunan şeyler

.Basınç sevk etmesi: tüneller ve boruhatları

.Çekim-akış sevk etmesi: su yolları ve kanallar

Nehirin veya su arıtma tesisinin konumu kadar arazi de bu sevk yatlarının uzunluğunu belirler.

1.2 SU KİRLİLİĞİNİN KAYNAKLARI

Su kirleticileri önceleri borular ve su yolları arasından su kaynaklarına giren tüm kuru hava kileticileri olarak tanımlanmakta olan, nokta kaynak ve nokta olmayan kaynak olarak kategorize edilir. Su, kanallar ve borular yolu ile su yataklarına girse bile, fırtına drenajı, nokta olmayan kirlilik kaynağı olarak düşünülür. Diğer nokta olmayan kirlilikler, temel olarak sitelerden ve diğer arazi dağılımları olan çiftlik arazilerinden gelir. Nokta kaynak kirliliği, temel olarak endüstriyel işletmelerden ve belediye atıksu arıtma işletmelerinden gelir.

Belediye atıksu arıtma işletmeleri kadar iyi, süt işleme işletmeleri, kağıt fabrikaları veya bira fabrikalarının boşalttıkları atıklar gibi, oksijen talep eden maddeler kirliliğin en önemli tiplerinden birini oluşturur. Çünkü bu malzemeler su yollarında bozunur ve suyun oksijenini tüketebilirler ve anaerobik koşullar yaratılabilir. Askıdaki katılarda oksijen tüketimine katkıda bulunur; ek olarak korkunç koşullar yaratırlar ve memnun olunmayan renklenmeye sebep olabilirler. Temel olarak nitrojen ve fosfor gibi besin maddeleri, hızlandırılan ötrifikasyonu destekleyebilir ve bazı biyolojik olarak konsantre edilen metaller su altı yaşamı ekosistemini elverişsiz olarak etkileyebilir ve insan tüketimi ve teması için kullanılamayacak durumda olan su oluşumunu sağlayabilirler.

Isıda suya boşaltılan endüstriyel atıktır. Isıtılan atıklar, zorlayıcı olarak ırmak veya gölün ekolojisini değiştirebilir. Yerel ısıtma, buzdan limanın kurtarılması gibi yararlı etkilerde bulunabilir. Temel etki suda düşük oksijen çözünürlüğü gibi belirsizdir. Çünkü sudaki gaz çözünürlüğü sıcaklıkla ters orantılıdır ve bu yüzden çözünen oksijenin(Ç.O.) miktarının azaltılması solungaç solunumlu türlerde etki yaratabilir. Çözünen oksijenin seviyesi azalırken, aerobik su yaşamı türlerinin metabolik aktivitesi azalır ve böylece oksijen talebi artar.

Belediye atıksuyu, endüstriyel atık olarak, su kirliliğinin önemli bir kaynağıdır. En eski Amerika kentlerinde atıksu sistemleri, atıksu boşaltma durumlarını kötüleştirdi. Bu kentler ilk inşa edildiği zaman, mühendisler hem fırtına sularının hemde sağlıkla ilgili olan atıkları taşımak için kanalizasyonların lazımlı olduğunu farkına vardı ve genel olarak heriki atığı da suyun en uygun bölümüne taşımak için tek bir sistem dizayn ettiler. Böyle sistemler birleştirilmiş kanalizasyonlar olarak adlandırılır. Yıllar geçerken, kent nüfusu arttı ve atıkların arıtılma ihtiyacı belirgin oldu, ayrı kanalizasyonlar inşa edildi: Sağlıkla ilgili atıkları bir arıtma birimine taşımak için bir sistem ve fırtına suyunu taşımak için diğer bir sistem.

Doğrudan doğruya yüzey sularına akan tarımsal atıklar, yaklaşık 2 milyara eşdeğer bir kolektif(toplu) populusyona sahiptir. Hayvan gruplarının büyük çoğunluğunun barındırıldığı hayvan besleme çiftlikleri, besleme için hayvanların oluşturulması için en etkili bir yol sağlar. Feedlots(besleme çiftlikleri) drenajı su kirliliği için oldukça yüksek bir potansiyel yaratır. Tarım, atıklar gerçekte küçük sahalarda konsantre edildiği için benzer problemlere sahiptir. Tarla erozyonundan oluşan tortu, bir kirlilik olarak belki sınıflandırılabilir. Tortu balık yumurtalarıyla karışır, çünkü tortu çakıl yataklarını örtebilir ve ışığın dalmasını bloke edebilir. Bu durum besin yapmayı ve bulmayı daha zor hale getirir. Tortuda doğrudan solungaçlı canlılara zarar verebilir.

Petrol bileşiklerinden kirlilik, ilk olarak 1976'da "Torrey Canyon" felaketi ile insanların dikkatini çekti. Ham petrolle yüklü, muazzam büyük tanker haritalarda yeraltındaki resifler gösterilmiş olmasına rağmen, İngiliz kanalında bir resife hızla çarptı. Balık, mikroorganizmalar ve kuşlar üstündeki petrolün akut etkisi katologlanmıştır. Su altı yaşamı üstünde, petrolün diğer alt etkileri çok iyi anlaşılmaz

ve potansiyel olarak çok fazla zararlıdır. Örneğin evi nehirde bulunan Salmon anadromous balığı gibi. İlginç hidrokarbonların mevcudiyeti ile nehrin kokusu ve tatı çok değiştirilebilir. Böylece nehirde yumurtlamak istemeyeceklerdir.

Maden ocağı asit drenajı, bir maden ocağı kuruluşundan beri, yüzey sularını kirletti. Sülfür yüklenmiş su, aktif olan maden ocakları gibi vazgeçilen ve eski maden ocaklarında dahil edildiği, maden ocaklarından süzdürülür ve hava ile temas ettiğinde sülfirik aside yükseltgenen sülfür bileşiklerini içerir. Bu su nehre ve göle aktığında, onların sonuç asitliği su altı yaşamı ekosistemini öldürecek kadar yeterince yüksektir. Fossil fuel elektrik üretme işletmeleri asit yağmur problemine büyük katkı sağlamaktadır. 1990 hava temizleme hareketi, nitrojen oksit ve sülfür dioksit gibi kaynakların önemini belirtir.

Ayrıca, doğal su kirliliği vardır. Uranyumun bozulmasından elde edilen Radon gazı kaynaklardan yeraltına sızar. Önceki kirliliklerden çok daha geniş manada kirlilik oluşturur ve radyoaktiflik yüksek ve tehlikeli olabilir. Uranyum gibi radyoaktif malzemeler karalardan nehirlerle karıştırılır. Birkaç çeşit yaşam sıcak kaynaklarda oluşur, fakat yalnızca 94°C'ye kadar. Hayvanlar, nadiren 40°C'nin üzerinde oluşur, mavi-yeşil algler ve bakterilerin büyük çoğunluğu 45°C'nin üzerinde büyümesine rağmen, sülfür kaynakları çok sınırlı bir ekeolojiye sahip ve alkaline benzerdirler. Doğal sebeplerden organik bozunma zarar verebilir.

Endüstriyel atık sular oldukça yüksek bir şekilde kısımlandırılırlar. Organik atık sular, şeker pancarı, mandıra ve cam fabrikalarından ve diğerleri de, petrokimyasal çalışmalar ve petrolden gelecektir. İnorganik su atıkları çelik işlemlerinden, araba ve diğer ağır endüstri parçacıkları, tozları ve maden ocaklarından metaller ve kum karışımlarının yıkanmasıyla taşocaklarından oluşacaktır. Bunlar, hepsi değil fakat çoğunluğudur. Atık arıtma çalışmaları arasından geçen Endüstriyel atık sular elbette ev atık sularıyla beraber arıtılır. Fabrikalar, elbette ev sistemlerinden farklı dağıtıma sahiptir. Son zamanlarda, çoğu, doğrudan kanalizasyona boşaltılır, fakat hala bazıları doğrudan nehre boşaltılır. Ümit ediyoruz ki, yerel arıtmadan sonra boşaltılmış olsunlar. Lastik, katran(zift) ve diğer tekerlek lastiği türevleri, ağır metaller, petrokimyasallar ve pis kokulu egzoz gazlarından diğer hidrokarbonlar, petrol, yağ, cam, toplam olarak asfalt türevleri ve ayakkabı

sektörünün türevleri, kışında buzlanma için tuz, yaprak ve hayvan ölümleri ve yolların herhangi bir tipine kazara dökülmeler hepsi için meydana gelebilir. Fabrikaların havaya yayılımları da, er geç nehre varır ve nehirleri etkiler. Radyoaktiflik, nükleer güç işletmeleri ile belki yayılabilir.

1.3 KİRLETİCİLERİN TİPLERİ VE ÇEŞİTLERİ

5 tip kirletici vardır.

.Organik Kirlilik

.Mikrobiyolojik Kirlilik

.Radioaktif Kirlilik

.İnorganik Kirlilik

.Isısal Kirlilik

Ayrıca kirleticileri su ortamındaki özelliklerine göre üç grupta toplayabiliriz.

1-Bozunmayan kirleticiler: Bu gruptaki kirleticiler kimyasal ve biyolojik parçalanmaya uğramadıkları için zamanla değişmezler. Örneğin; inorganik maddelerin çoğu bu gruba girerler. Bu kirleticilerin su kaynağında uğradıkları tek değişiklik seyrelmedir.

2-Bozulabilen kirleticiler: Bu gruptaki kirleticileri iki alt grupta toplayabiliriz:

a-Organik atıklar

b-Mikroorganizma içeren atıklar

Organik atıklar biyolojik olarak parçalanabilirler. Bu maddeler, bakteriler tarafından parçalanarak daha basit maddeler şekline dönüştürülürler. Mikroorganizma içeren atıklarda zamanla değişikliğe uğrarlar ve su ortamında mikroorganizma sayısı hızla azalır.

3-Kalıcı kirleticiler: Bu gruptaki kirleticiler biyolojik birikime neden olurlar. Civa kadmiyum, kurşun gibi metaller, bazı deterjan ve tarım ilaçları gibi organik maddeler, uzun yarı ömürlü radyoaktif maddeler, bu gruba girerler. Tarım ilaçları ve deterjanlar gibi maddelerde parçalanma olsa bile, parçalanma süreci çok uzun zaman alacağından su ortamına gelen yeni kirleticilerle birleşerek parçalanma süresini, daha da uzatırlar. Besin zincirlerine de girebilen kalıcı kirleticiler, çeşitli beslenme

basamaklarında ve en sonunda insan vücudunda bir organda birikirler. Birikim yaparak çeşitli hastalıklara sebep olurlar.

Organik Kirleticiler

Organik bileşenlerin ana elemanı karbondur(C). Bir kaç milyon organik bileşik dünyada oluşur. Organik maddelerin çoğunluğu doğaldır. Örneğin, bitkiler ve hayvanlar tarafından üretilen böyle maddeler, doğal olarak yavaş yavaş inorganik maddelere indirgenir. Geçen yüzyılda, insanlar, doğal olarak önceden var olmayan yeni organik bileşenlerin çoğunu üretmek için, yarış başlattılar. Organik bileşen sentezi işleminde ve çoğu orta basamak organik bileşenleri indirgenme sırasında oluşturulur. Organik bileşenler genel olarak üç gruba bölünür:Acyclic bileşenler (alifatik hidrokarbonlar); Cyclic hidrokarbonlar and heterocyclic bileşenler.

Sudaki organik maddeler aşağıdaki sırayla açıklanacaktır:

- Ham petrol ürünleri
- Pestisitler
- Yüzey aktif temsilcileri
- Optiksel parlaticılar
- İnsansal maddeler
- Lignin-sulfonatlar and tanin asitleri
- Halojenlendirilmiş alifatik hidrokarbonlar
- Klorlu aromatik bileşikler
- Dioksinler
- Çoklu nükleer aromatik hidrokarbonlar
- Phthalates
- Fenoller
- Klorlu reaksiyonlar
- Amino asitler
- Karbonhidratlar
- Fats (gress yağı, petrol)
- Fatty asitler (karboksilli)
- Klorofil

Ham Petrol Ürünleri (Petrol)

Ham petrol organik maddelerin indirgenmesinin bir sonucu olarak en uygun şekilde yaratıldı. Deniz organizmaları için uygun olarak, orjinalleştirilir. Ham petrol, %90'ı karbon olan moleküle sahip hidrokarbon bileşimlerinden oluşur. Ham petrol, ortalama %82-98 arasında karbon, %12-15 arasında hidrojen içerir. Ham petrol çoğu alifatik, aromatik, değişik devreli hidrokanbonları içerir. Hidrokarbonlar belki sınıflandırılabilir:

- Alkanlar (doyurulmuş hidrokanbonlar)
- Olefinler (doyurulmamış zincir hidrokanbonlar)
- Gaz yağları (doyurulmuş çevrim bileşenleri)
- Aromatik bileşenler (halka hidrokanbonlar)

Ham petrolün kimyasal işlemleri sırasında, çoğunun türev üretimi oluşturulur ve bunlar petrokimyasal atık sularda bulunabilir. Organik asitler, esterler, alkoller, aldehitler, fenoller, merkaptanlar, alifatik ve aromatik aminler, glikoz, aseton ve furfural. Bu bileşenler polardır, böylece kolaylıkla polar olmayan mineral yağlarına ayrılabilirler. Sudaki petrolün miktarı organik çözücü ile sudan madde ayrılırken belirlenebilir. Fakat yağlar, genellikle su üstündeki bir yüzey filmi gibi bulunduğu için, açık olarak, örnekleme üretimi ve sonuçların ifade edilmesi dikkatli olarak yapılmak zorundadır. Mineral petroller(yağlar) 0.01mg/L konsantrasyonunun yukarısında olursa, suyun tadını etkileyebilir. Belki de taze balıkta leke yaparlar. Bu durum hoş olmayan koku ve renklenme yaratabilir.

Pestisitler

Pestisitler doğal veya sentetik maddelerdir. Hayvan ve bitki böceklerinin çeşitli tiplerini öldürmek için kullanılırlar. Genel olarak, tarımda, veterinerlikte, hijyen üretimi için, sağlık önlemlerinde ve ev ile ilgili olarak kullanılırlar. Adı latince pestis kelimesi ve öldürme anlamındaki caedere'den türetilir. Kullanımına göre pestisitleri aşağıdaki gibi sınıflandırabiliriz.

- İnsektisitler (böcek öldürücüler)
- Herbisitler (bitki öldürücüler)
- Fungisitler (küf kontrol etme)

- Molluscicides (molluscs kontrol etme)
- Nemasitler (nematodes kontrol etme)
- Rodentisitler (rodents kontrol etme)
- Bakteriyositler (bakteri öldürücü)
- Defoliants (bitki yaprağını kaldırma)
- Akarsitler (kene ve akar öldürücüler)
- Kereste koruyucular
- Püskürtücüler (pestlere püskürtülen maddeler)
- Çekiciler (böcekleri ve diğer gestleri çeken maddeler)
- Kimyasal strilizeler (böceklerin tekrar üretilmesini engelleyici maddeler)

Pestisitler, kimyasal yapılarına göre inorganik ve organik olarak sınıflandırılır. İnorganik pestisitler kullanımda, yalnızca çok küçük bir kısmı oluşturur.

- Arsenical pestisitler
- Flourid insektisitler
- İnorganik herbisitler
- İnorganik fungusitler

Tarımda pestisitler pestleri, fungileri(küfleri) ve yabani otları kontrol etmek için kullanılır. Sağlık korumasında, pestisitler temel olarak hastalık sebebi olan malarya taşıyan sivrisinekleri kontrol etmek için kullanılır. Pestisitler evde böcekleri, kemirgen hayvanları kontrol etmek için kullanılır. Diğer uygulamalar: Ormanlarda pestleri kontrol etmek için, kereste, tekstil koruması için ve aynı zamanda su rezervlerinde gözönüne alınan bitkilerin aşırı büyümesini kontrol etmede kullanılır. En önemli pestisitlerin bazılarının kimyasal yapısı aşağıdaki gibidir.

Klorlu pestisitler, DDT ($C_{14}H_9Cl_5$); Heachlorocyclohexane (HCH); Aldrin ($C_{12}H_8Cl_6$); vs.

Pestisitler suda, küçük konsantrasyonlarda oluşur. Onlar askıdaki katıları absorbe etmek eğilimine sahiptirler ve dipte tortu oluştururlar. Suda zaten çözünen organik pestisitler suyun hidrolojik çevrimine karışırlar ve genel olarak kolaylıkla indirgenirler. Aynı pestisitler, hızlı bir şekilde, yağmur suyu ile topraktan alınıp ve nehir sularına girer. Pestisitlerin çoğu, su organizmalarını, biyolojik birikime maruz bırakma yeteneğine sahiptirler. Örneğin, bazı klorlanmış pestisitler sudakinden

binlerce kez daha büyük konsantrasyonlarda su yaşamı organizmalarının dokularında oluşabilir. Tanımlanan pestisitler zehirli maddelerdir. Onlar böceklerle, kemirgen hayvanlara, küflere, yabani otlara zarar vermek veya onları öldürmek için dizayn edilir. Pestisitlerin istenilen şekilde zehirli olması yönünde siparişleri verilir. Örneğin, onlar, yalnızca pest organizmalarını öldürmeli ve hedef olmayan organizmalara ki, bunlara insan da dahil zararsız olmalıdırlar. Bu talebi karşılamak zordur ve pestisitler her zaman çeşitli boyutlar da, çevreye ve insanlara zararlıdır.

Yüzey Aktif Maddeleri

Yüzey aktif maddeleri veya yüzey maddeleri çamaşır yıkama, emülsife etme, köpürtme, ıslatma, yüzme, v.s. için kullanılır. İlk olarak suya konulduğu zaman, bu maddeler, yüzey tabakaları üstünde konsantre olma eğilimindedir. Ve sonuç olarak, daha düşük yüzey suyu tansiyonu gösterirler. Yüzey aktif maddeleri moleküllü asimetrik bir yapıya sahiptir. Farklı özelliklerin sergilenmesiyle iki kısımdan oluşur: bir hydrophobic kısım(polar olmayan) ve bir hydrophilic kısım(polar). Böyle molekül yapılı yüzey aktif maddeler kısmi olarak bir organik faz ve kısmi olarak suda çözülebilirler. Molekülün dual doğası, herbiri diğerinde askıda kalmış olanlarla karışmayarak iki maddeye müsaade edildiği bir emülsife eden madde olarak hareket etmesine hizmet eder. Sabun ve deterjanlar, yüzey aktif maddelerin grubuna dahildir. Onlar temel olarak çamaşır yıkama için kullanılır. Sabun, temel olarak stearik, palmitik ve oleik fatty asitlerinin uzun zincirinin potasyum ve sodyum tuzudur. Sabun, potasyum veya sodyum hidroksit ile bitki yağının veya hayvan yağının reaksiyonu olan sabunlaşma olarak adlandırılan bir işlem ile üretilir. Sabunlar, çamaşır yıkama maddeleri olarak kullanıldığı zaman bazı dezavantajlara sahiptir:

-Sabun, hidroliz oluşturduğu zaman, zayıf asit ve kuvvetli baz tuzudur ve bazen tekstil için sodyum hidroksil oluşturur.

-Sabun suya eklendiği zaman, sudaki sertlikten sorumlu iyonların hepsine neden olur ve suyun üzerinde yüzen pislikleri oluşturur.

Yalnızca sabun bir temizleme maddesi olarak hareket eder; sert suda sabunun kaybı %25'e varabilir.

-Asidik çözeltide sabunlar indirgenir ve fatty asitleri fabrik üstünde yüzeye çekilebilecek şekilde serbest bırakılırlar.

-Suda, yüksek tuz içerikleriyle, örneğin,deniz suyunda sabun çözünürlüğü azalır.

Yüzey aktif maddeler onların kimyasal yapısına göre; aniyonik, katyonik, amfoterik ve iyonik olmayan, şeklinde sınıflandırılabilir. Deterjanlar temel olarak evlerde kullanılır. Yaklaşık toplam miktarın bir 30'luğu endüstri tarafından kullanılırken, yüzey aktif maddelerine ek olarak, ticari deterjanlar da "builder" bileşenlerinin %60-70'ini içerir. Belediye atıklarında, aniyonik deterjanların konsantrasyonu 20mg/L'ye varabilir ve deterjan üretilmesi veya işletme kullanımından endüstri atık sularında birkaç g/L'ye çıkar. Bununla birlikte yüzey sularında, yüzey madde konsantrasyonu genel olarak yüzey dışının dolaylarında 0.1 mg/L aşağısındadır. Yüzey aktif maddeleri su yaşamı çevresine zararlıdır. Onlar köpürmeye sebep olabilirler ve atmosferik oksijen difüzyonunu azaltırlar. Yüzey sularına boşaltılan deterjanlar da, emülsifiyer olarak hareket edebilir ve sıvıya karışmayan yağlar gibi maddeler ile su arasındaki yüzey arası tansiyonu(gerilme) azaltabilirler ve suda emülsife olmuş, bir yağ oluşumu ile sonuçlanır. İlk olarak üretilen deterjanlar, varlıkları yüzünden çevrede çok probleme sebep oldu. Yavaş indirgenme yüzünden sert deterjanlar olarak bilinirlerdi. Temel problem atık su arıtma çalışmalarında aşırı köpürmeydi. Köpürme tehlikeliydi. Çünkü atık işletmelerinde suyun yüzeyinde nadir sayıda olduğu için anlaşılması zordu ve suyu insanların kurtarmasını engelledi. Zararlı bakterileri içeren köpükler yüzünden, aynı zamanda bir sağlık riski idi. Şiddetli rüzgarlar, bazı zamanlar atık su işletmelerinde, geniş bir alan üzerine köpüğü saçardı.

Optiksel parlaticılar

Bunlar tekstil, kağıt, plastik ve diğer malzemelerin renklenmesinde gelişme için kullanılır. Kağıt ve tekstil endüstrisinde, plastik üretiminde, sentetik fiberlarda, çamaşır yıkama tozlarında ve çamaşırhanelerde, %0.7'nin yukarıdaki konsantrasyonlar da evsel yıkama tozlarına(deterjanlara) eklenir. Optiksel parlaticılar U.V ışınlarını absorp eder ve görünür mavi ışık yayar. Nehir suyundaki optiksel parlaticıların mevcudiyeti belediye atıklarının boşaltımıyla oluşan bu bileşenlerin üretilmesi veya işletmelerin kullanımından atık suyun boşaltılmasına sebep olabilir. Yüzey sularında optiksel parlaticıların konsantrasyonu düşüktür. Optiksel parlaticıların, çevresel bir zarar teşkil etmediği düşünülür. Bazı optiksel parlaticılar, kimyasal yapılarına bağlı olarak, çok hızlı bir şekilde indirgenir.

İnsansal Maddeler

Biyokimyasal işlemler ile dönüştürülenler ve tanin asitleri, polisakkaritler, pektinler, proteinler, ligninler, hayvanlar ve bitkilerin kalıntıları gibi organik maddeler, suda mevcut olduğu zaman, yüksek moleküler bileşenler oluşturulur. Bu işlem, humification olarak adlandırılır ve indirgenme işleminde oluşturulan bileşenler, insansal maddeler veya insansal asitler olarak adlandırılır. Onlar organik asit karakteristiklerine sahiptir ve çoğu bileşenlerin karışımıdır.

Humic maddeler(HS) Oden tarafından 4 grupta sınıflandırılır. Sulandırılmış asitler, bazlar, alkoller ve doğal pH'lı sudaki çözünürlüklerine göre,

- Humic asitler alkalın çözeltisinde eritilir ve mineral asitte ve alkolde erimezdir.
- Fulvik asitler hem asidik çözeltide(pH=1) hemde alkalın çözeltisinde eritilir.
- Huminler, ya doğal pH'lı suda ya da alkaline çözeltisinde eritilmez.
- Hymatomelanik asitler, alkali ve alkolde erir, fakat mineral asitte erimez.

Humic maddeler doğal olarak çoktur. Onlar toprakta ve nehirlerin, göllerin ve okyanusların aşağısındaki tortuda büyük miktarlarda oluşur. Humic maddeler, birkaç yıl kadar, insanlara gerçekten zararsız oldukları için dikkate alınmadı. Onlar zevke uygun sebepler için yalnızca içme suyundan kaldırıldı. Son zamanlarda, onların beklenmeyen su rengi kaynağı olabildiği ve ağır metaller ve pestisitler, PCB'ler ve fatalatlar gibi organik bileşenlerin adsorpsiyonuyla karmaşık oluşumlar tarafından zehirli maddeler toplayabildiği bulundu.

Lignin-Sulphonates ve Tannins

Lignin-sulfonatlar ve tanninler bitki dokularının mevcut bileşenleridir. Kerestedeki Lignin'in %20-30'dır. Selüloz üretimi ligninden selülozun ayırımına dayandırılır. Selüloz üretiminin sülfite metodu(asidik), eriyen linin-sulfonat oluşturulur. Sülfat metodu(alkalin) alkal-ligninler oluşturulur. Sülfö-ligninler kahverengi renge sahiptir. Ligninler suda erimezdir ve organik çözücülerin büyüklüğündedirler. Onlar U.V bölgesinde karakteristik bir spektrum verirler ve

fenoller ve aromatik aminlerle renklendirilmiş bileşenler oluştururlar. Sülfat selüloz üretiminden atıksu, 50-70mg/L lignin içerir.

Halojenli Alifatik Hidrokarbonlar

Halojenli alifatik hidrokarbonlar, hidrokarbonlarla halojenlerin reaksiyonlarının ürünleridir. Bu maddelerin en çok bilineni klorlu hidrokarbonlardır. Onlar düşük moleküllü ve yüksek moleküllü bileşenler olarak iki gruba bölünebilir. Düşük moleküllü alifatik hidrokarbonlar genel olarak metan, etan ve etilenin türevleriyle halojenlendirilir. Onlar polar olmayan bileşenlerdir. Yüksek moleküler ağırlıkla halojenlendirilmiş hidrokarbonlar atık sularda bulunur. Onlar polar bileşenlerdir. Bu gruba klorlu ligninler ve klorlu humic maddeler dahildir. Bu bileşenleri belirlemede özel zorlukların yüzünden, kullanılan metodlar, halojen atomlarını içeren organik bileşenlerin toplam miktarlarını verir. Onlar, müşterek olarak adsorbedilebilir organik halojenler(AOXs) olarak bilinir. Halojenlendirilmiş hidrokarbonlar arasında en önemlisi triklorometanlardır(THMs), haloformlar olarak da adlandırılır. Bu grubun ana temsilcileri kloroform, grupları olan. bromodichloromethane, dibromochloromethane ve bromoformdur. Bunlar kimya endüstrisinden gelen atık sularda bulunabilir. Halojenlendirilmiş hidrokarbonlar düşük konsantrasyonlarda oluşur. Onlar genel olarak 1 - 100 µg/L aralığında oluşur. Halojenlendirilmiş hidrokarbonların insana ve su yaşamı organizmalarına zararlı olduğuna dikkat çekilir. Çoğu halojenlendirilmiş hidrokarbonlar kanser yapıcı özelliklere sahiptir. USA Kanser Enstitüsü 1976'da, büyük ve küçük farelere kanser yapıcı olduğunu ilan etti.

Klorlu Aromatik Bileşenler

Çok sayıda klorlu aromatik bileşen vardır fakat incelenen noktadaki çevresel etkiden, en önemlisi, polychlorinated bi- ve triphenyls ve klorlu benzenlerdir. Klorlu benzenler, kimyasal sentezdeki aramalzemeler, çözücüler, pestisitler, dielektrik akışkanlar, deodorantlar olarak kimya endüstrisinde kullanılır. Bu maddeler monoklor, diklorbenzen, polychlorinated biphenyls(PCBs) ve polychlorinated terphenyls(PCTs) gibi ayrılabilir. PCBs'ler genel olarak onların ticari adlarıyla

bilinir. Monsanto kimyasalları tarafından üretilen Aroklorları en yaygın bilinenlerdir. PCB'ler asit ve baz hidrolizine, oksidayona ve indirgenmeye dirençlidir. Çevrede PCB'lerin yarılanma ömrünün 10-15 yıl arasında olduğu tahmin edilmektedir. Dünyada PCB üretiminin azalmasına rağmen, onların çevredeki kalıntıları indirgenmeye onların direnci yüzünden oldukça yüksektir. PCB'lerin çok daha büyük miktarlarda aşağıda tortuları oluşur. PCB'ler sualtı organizmalarında biriktirilir. Klorlu aromatik bileşenler sualtı çevresinde zararlıdır. Dikkat çevrede çok varolan PCB'lere çekilir ve bunlar besin zincirinde toplanma kabiliyetindedir. PCB'ler kuvvetli bir akut zehirlilik göstermez, fakat, onlar bitkilerin büyümesine zararlıdır. Çünkü onlar fotosentez işlemini ve klorofil içeriğini azaltır. PCB'ler invertebratelere karşı zehirlidir, fakat balığa daha az zehirlidir.

Dioksinler

Dioksinler 75 farklı polychlorinated dibenzo-o-dioxins (PCDDS)'lerin bir müşterek adıdır. Bunlar 2 izomerli monoklor, 10 izomerli dikloro, 14 izomerli trikloro, 22 izomerli tetrakloro, 14 izomerli pentakloro, 10 izomerli hexakloro, 2 izomerli heptakloro, 1 izomerli octakloro'durlar. Halojen içindeki bir artış ile, çevredeki indirgenmeye karşı bir direnç artışı vardır. Dioksinler, çok kararlı organik bileşiklerdir. Dioksinlerin en zehirlisi 2, 3, 7, 8-TCDD'dir. Diğer homologiler ve türevler daha az zehirlidir. T₄CDD, akut ve kronik etkiler sergilemekte ve memelilere karşı oldukça zehirlidir.

Polinükleer Aromatik Hidrokarbonlar

Polinükleer aromatik hidrokarbonlar(PAH) molekülde 2 veya daha fazla benzen halkaları içeren bileşiklerdir. Onlar fosilfueller ve çöplerin yanması sırasında üretilir. PAH'ların önemli konsantrasyonları, petrokimyasal atıksularda oluşur. PAH'lar çevrede ham petroler ve petrol ürünleri gibi onları içeren malzemelerde gerçekleştirilir. Çünkü bileşenler yolların asfalt yüzeylerinden arabalar ve araba tekerlekleri tarafından yayılan gazlardan geldiği için, PAH'ların önemli kaynağı yollara boşaltımdan gelir. Polinükleer aromatik hidrokarbonlar doğal olarak birkaç bakteri ile sentezlenebilir. PAH'lar anaerobik koşullarda aşağıdaki tortularda belki

oluşturulabilir(Wakeham et al. 1980). Polinükleer aromatik hidrokarbonlar hemen hemen suda erimezdir. Yüzey suyunda, askıdaki katılar üstünde çoğunlukla yüzeyde toplanacak şekilde oluşur. PAH'lar önemli miktarlarda atık sular ve kanalizasyonlarda oluşur. PAH'lar yaşayan organizmalara zararlıdır. Çünkü onların bazıları kanser yapıcıdır.

Phthalates

Benzene dikarboksilli asitler de, fatalik asitler olarak adlandırılır. Orto, meta ve para oluşumlarında izomerler olarak vardır. Önemli fatalatlar; dimetil fatalat (DMF), dietil fatalat (DEF), dibutil fatalat (DBF), benzil butilfatalat (BBF), dietil hexilfatalat (DEHF), diisodecil fatalat (DIDF). Fatalatlar temel olarak yumuşatıcılar olarak plastik üretiminde kullanılır. PVC %55'in yukarısında fatalat içerebilir. Fatalatlar çok yavaş olarak su yaşamı çevresinde indirgenir.

Fenoller

Fenol bileşikler temel olarak benzen halkası ve bir veya daha çok hidroksil gruplarından oluşur. Genel formül $Ar-OH$ 'dır. Fenoller, resinler, naylonlar, plastikler, antioksidantlar, yağ ekleyiciler, esrarlar, pestisitler, boyalar, patlayıcılar, dezenfektler ve biositler gibi dahil edilen çoğu maddelerin üretimi için çok geniş çeşitlilikteki endüstri tarafından kullanılırlar. Kömür tarının damıtılmasıyla ve sentetik olarak da üretilir. Bugün, fenolün çoğu benzenden fabrika edilir. Büyük miktarlardaki atık sularda fenoller işletmelerdeki pişirilme,gaz işletmeleri, kömür gazifikasyon işletmeleri, petro kimyasal işletmeler ve plastikler, boyalar, pestisitler v.b üretimlerinden oluşur.

Onlar, metabolizma ürünleri olabilir veya hayvan idrarında ve su işletmeleri tarafından boşaltılan şeylerde bulunabilirler. Onlarda bu doğal reaksiyonlarda oluşturulan protein indirgenmesi işleminde oluşturulur. Bununla birlikte fenollerin miktarları atık sular ile yüzey sularına boşaltılan fenollerin miktarlarından çok daha küçüktür. Fenoller zaten yüksek konsantrasyonlarda olmaksızın, mikroorganizmalara karşı zehirli oldukları zaman, biyolojik olarak indirgenebilirler. Mikroorganizmaların

adaptasyonu indirgenme işlemini ivmelendirir. Fenoller, endüstriyel atık ile kirlilik oluşturduğu zaman, iz miktarlarından birkaç mg/L'ye uzak olan konsantrasyonlarda yüzey sularında mevcuttur. Onlar zehirlidir ve onlar su altı yaşam çevresine zararlıdır. Fenoller en eski bilinen dezenfektanlardan biridir ve bakterisit olarak kullanılır. Çok kuvvetli dezenfekte edilen maddeler 6 birim kadar yüksek fenol katsayılarına sahiptir. Onların bakteriyal gücü fenollerinkinden 6 kez daha büyük demektir. Sudaki fenoller taze balıkta olabilir ve onlar memnun olunmayan renk ve tada sahip olmaya sebep olurlar.

Klor ile reaksiyonlar

Organik ve inorganik bileşenlerle klorun reaksiyonu su kalitesi üstünde önemli bir etkiye sahiptir. Klor, ve onun bileşenleri içme için dezenfeksiyon için yüzme havuzlarında suyun dezenfeksiyonu için ve bazı ülkelerde yüzey sularına boşaltılan atıkların dezenfeksiyonu için geniş olarak kullanılır, fakat Cl_2 (g) gazı olarak en sık kullanılan şeklidir; diğer klorlama vasıtaları HOCl hypochlorous asitin tuzlarıdır, örneğin sodyum hypochlorite NaOCl, ve kalsiyum hypochlorite $Ca(OCl)_2$.

Klor dezenfektan olarak rol oynar ve bu yüzme havuzlarına ve içme suyuna neden eklendiğini açıklar. Klorun yüksek tozları zararlıdır. Klorlu organik bileşikler çok zararlıdır. Su yaşamı organizmaları ve insanlar için zehirlidir.

Amino asitler

Amino asitler aromatik, alifatik ve heterocyclic bileşiklerin çeşitli gruplarından oluşan karmaşık yapıları organik bileşiklerdir. Onlar proteinlerin temel bileşenleridir ve bu sebep için, amino asitlerin bir karışımı protein hidroliz işleminde oluşturuldu. Sudaki amino asitlerin ana kaynağı yaşayan organizmaların excretasıdır, fakat sudaki amino asitler ölen organizmalarda proteinlerin indirgenmesinden belki orjinalleştirilir. Amino asitler, atık sular, dışarı akanlar ve kanalizasyondaki sulara sokulur. Amino asitler, suda birkez eritilen, oksidasyon, deamination, dekarboxilation, racemization gibi çeşitli reaksiyonlara maruz kalır. Bilinen ve bilinmeyen protein amino asitlerin çoğu doğal suda detekte edilir. Serbest çözünen

amino asitler yüzey sularında yalnızca küçük konsantrasyonlarda oluşur. Çünkü onlar, zaten su organizmaları tarafından tüketilir. Serbest amino asitler genellikle 1'den 20 µg/L'ye kadar olan konsantrasyonlarda oluşur.

Hidrokarbonlar

Hidrokarbonlar yalnızca karbon, hidrojen, oksijen ki onlar su molekülündeki oksijen ve hidrojen gibi aynı oranda mevcut olan hidrojen ve karbon içeren yaygın ve çok doğal olan maddelerin büyük bir grubudur. Bu basit orandan "hidrokarbonlar" adı düşünülür. Örneğin sulu karbon bağlanması. Bu bilinen terim, bununla birlikte bu bileşiklerin kimyasal yapısını temsil etmez. Hidrokarbonlar çoğu endüstrilerin atık sularında ve yüzey sularının kalitesi için bir arıtma pozası oluşturur. Sudaki bazı hidrokarbonlar çok hızlı bir şekilde biyolojik olarak indirgenebilirler ve azalan organizmalar, bu işlemde çözünen oksijenin çoğunu kullanır ki bu işlem, suyun oksijensizlendirilme işlemini son derece hızlı bir şekilde yapabilir. Onlar suda yaşayan organizmalar tarafından belki sentezlenir. Yapılarına bağlı olarak, sınıflandırılabilirler monosakkaritler(basit şekerler), disakkaritler($C_{12}H_{22}O_{11}$), ve polisakkaritler. Genelde, sonlarına 'oz' getirilerek hidrokarbonların adlandırılması yapılır, fruktoz gibi. Hekzoslar $C_6H_{12}O_6$ gibi genel formüle sahiptirler. Glikoz, galaktoz, monnoz ve fruktoz en önemli dört hekzodur. Onlar polisakkaritlerin hidroliziyle oluşturulur ve beslenme işleminden sonra atık sularda mevcut olabilir. Yüzey sularında hidrokarbonların gerçek konsantrasyonları hakkında çok küçük bilgi elde edilir. Genel olarak, onların indirgenme etkisi BOD testlerinde ölçülür.

FAT'lar (gress yağı, petrol)

Fatlar trihidroksil alkollerin ve uzun zincir organik asitlerinin esterleridir (glycerol). Hayvansal fatlar daha yüksek doyurulmuş asitlerin gliseritleridir, ana olarak 16 ve 18 karbon atomu içeren moleküllerdir ve çevre sıcaklığında katıdırlar. Bitki yağları(işletme petrolleri) doyurulmamış asitlerin gliseritleridir ve çevre sıcaklığında sıvıdırlar. Yüzey sularında bitki yağları ve hayvan yağlarının içerikleri hakkında birkaç bilgi vardır. Fatlar ve oiller su yaşamı çevresine zararlıdır. Çünkü

onlar belki su yüzeyinde yağ tabakası oluşturabilir ve su organizmaları üstünde oluşturulabilirler ve tortuda müteşekkül edilmiş olabilirler.

Fatty asitler (Karboksil)

Fatty asitlerin genel formülü $R-COOH$ 'dır. Karboksilli asitlerin çoğu doğal olarak vardır veya doğal maddelerden üretilir. Onlar çok zayıf asitlerdir; fakat bazlar ile tuz oluşturan fatty asitler, organik asitlere benzerdirler. Onlar doğal olarak et, meyveler, içkiler ve günlük üretimlerin dahil edildiği foodstufflarda vardır. Onlar, besin ekleyici boyaların, resinlerin, yumuşatıcıların, yağların, parfümlerin ve boyaların üretilmesinde kullanılır. Formik asit tıpta kullanılır. Asetik asit geniş olarak evde ve endüstrilerde kullanılır. Kanalizasyonlarda, atık sularda ve çiftlik atıklarında bulunur. Fatty asitler doğal suda, küçük konsantrasyonlarda vardır. Bu asitler yaşayan organizmalar için zehirli değildir ve içme suyunda fatty asitlerin düşük konsantrasyonlarda olması insan sağlığına, mümkün mertebe zarar vermez.

Klorofil

Bitkilerin fotosentetik pigmentleri klorofil olarak adlandırılır. Onlar porphyrinlerin gruplarına aittir ve yeşil renge sahiptirler.

Klorofiller, hidrofobiktir ve zaten yağlarda ve çözücülerde eritilir, fakat onlar suda erimezdir. Suyun klorofil içeriği onun fotoplaktonik biyolojik kütlelerinin bir göstergesidir ve bu da fotosentezin oranının bir göstergesidir. Klorofilin konsantrasyonu genel olarak plaktonik alglerin kuru ağırlığının % 0.5-1.0 'dır. Klorofil ile biyolojik kütle oranı antotrofik indeks adlandırılır(AI). Kirletilmemiş sular için AI küçüktür. Yüzey sularında klorofilin konsantrasyonu nadiren çevresel kanunlarla sınırlandırılır.

Mikrobiyolojik kirleticiler

Mikrobiyolojik kirleticilerin en önemlileri bakteriler virüsler ve insanda hastalık yapan diğer mikroorganizmalardır. Bu kirleticilerin esas kaynağı şehir pis

suyu, yağmur suları ve hayvanlardır. Bazı endüstrilerin atıklarında kullanılan hammaddeye bağlı olarak mikroorganizmalar bulunabilir. Bir kişiden suya günde yaklaşık 200 milyon koliform bakteri karıştığı düşünülürse birkaç pis su boşaltım noktasından suya ne kadar büyük bir kirletici yükü verildiği kolayca görülür.

Radyoaktif Kirleticiler

İnsan sağlığı açısından büyük tehlike yarattıklarından, radyoaktif kirleticiler kaynakta kesin olarak kontrol edilmelidirler. Günümüz teknolojisinde radyoaktif kullanımındaki artış, enerji üretiminde nükleer santrallerin kullanılması ve yapılan nükleer denemeler genelde yeryüzündeki su kaynaklarındaki radyoaktif kirlenmeyi arttırmaktadır.

Örneğin 1986'ın ilkbaharında, Ukrayna'nın küçük kasabası olan Çernobil'de bir Sovyet nükleer reaktörü patladı ve yandı. İnsan besin zincirine radyoaktifliğin girmesi yüksek bir ihtimalle değişti. Çernobilden 1500 km uzaktaki radyasyon seviyesi bir litrelik süt başına 500 Bq'e vardı. Sovyet uzmanları Çernobil işletmesi radyoaktifliğin önemli miktarlarda olduğunu farkına vardılar. Bu zamanlarda, batıdan hüküm süren rüzgarlar, böylece, Batı Avrupadaki gerçek değerleri ortaya koydu. Tepelerdeki nüfus üzerindeki etkiler bilinmezdir ve monitörlemez. Bu olay dünyadaki insanlara bir dersti.

İnorganik Kirleticiler

Su kaynaklarına, çözünmüş, kolloidal ve askıdaki katı madde halinde karışırlar. Endüstriyel, kentsel, tarımsal ve doğal kaynaklardan gelen bu kirleticiler kalıcı niteliktedir. Organik kirleticiler gibi biyokimyasal olarak bozulmazlar. Askıdaki katı maddeler ve kolloid halinde bulunan inorganik maddelerin çoğu atık temizleme sistemlerinde tutulabilirler. Bazı inorganik maddeler, örneğin klorürler, kalıcı, birikici ve temizlenmeye direnç gösteren maddelerdir. İnorganik maddelerin çoğu da su kaynaklarında çökerek birikintilere neden olurlar.

Civa ve arsenik gibi ağır metaller düşük konsantrasyonlarda olsa bile balıklara zarar verebilir. Sonuç olarak, sudaki bu iyonların ölçülmesi çok hassas olmalıdır. Seçilen metod örneğe eklenen lathanyum klorür çözeltisinde ,atomik absorpsiyon spektrometridir ve bir atomiser kullanılarak bir alev şeklinde arıtılmış örnek püskürtülür. Örnekteki herbir metalik eleman, aleve yoğunluğu spektrometrik olarak ölçülen bir karakteristik renk verir.

Isısal Kirleticiler

Çeşitli endüstriler, üretim süreçlerinde soğutma suyu kullanırlar. Üretim süreci sonunda ısınmış olarak alıcı ortama gelen bu sular ısısal kirleticileri oluştururlar. Isısal kirleticiler genellikle su ortamındaki biyolojik yaşamı etkilerler.

1.4 SU KİRLİLİĞİNİN İNSAN SAĞLIĞI ÜSTÜNDEKİ ETKİSİ

19.yy'ın ortalarında,tıp bilgisi hala karşılaştırılmalı olarak kabacaydı; sık sık kazanca aykırıydı ve halk sağlığı ölçümleri kafi değildi. Hastalıkların esas teorisi zaten kabul edilmedi ve müthiş salgınlar periyodik olarak, dünyanın büyük şehirleri üzerinde gezindi. Bazı halk sağlığı ölçme işlemleri bununla birlikte bir pozitif etkiye sahipti. Ortaçağda ve endüstriyel devrim sırasında, şehirlerdeki yaşam zor, genellikle ızdıraplı ve kısa idi.

1850'lerde “büyük sıhhi uyanma” olarak adlandırılan şey akıllanma idi. Yorulmak bilmez halk sağlığı savunucularının İngilteredeki Sir Edwin Chadwick'e ve Avusturyadaki Semmelweiss'e benzediğini varsayarsak, uygun ve etkin ölçümler tekamül etmek için başladı. John Snow'un 1849'daki Londradaki kolera salgınının klasik epidemolojik çalışmaları bir halk sağlık probleminin arı keşfi olarak bilinir. Bir alan haritası kullanılarak ve bunun üzerine hastalıkların ve hastalıklara tutulan kişilerin ikametgahlarının tanımlanması yapıldı. Snow, Broad caddesi üstünde bir halk pompasından gelen suyu, salgın kaynağı olarak gösterdi. Herşeyden önce gemide taşınan hastalıklar, halk sağlığını yakından ilgilendiren bir şey oldu. Halk

sağlığı tarihsel olarak insan toplulukları için su kaynağı ile ilgili olarak düzenlendi. Geçici ikametgahlar ve tarımsal yeteneklerin gelişimi, bir sosyal fabrika yaratmak için, bir kooperatif yaratma fikri ilk insan aktiviteleri arasında idi. Tarımsal verimlilik arttığı için, bu bölümde çalışma mümkün oldu ve toplumlar özel yapılar ve halk yapıları inşa etmeye başladı. Su kaynak ve atık su drenajları, halk işletmeleri arasındaydı ve topluluklarda insanların hayatlarını devam ettirebilmeleri için gerekliydi. Suyun elde edilmesi her zaman uygarlığın kritik bir sorunuydu. Bazı eski şehirlerde etkin sistemler modern mühendislik standartlarında olsa bile, çılgın ve karışık olarak, gelişmeler oldu.

Şehirler büyürken, su için talep dramatik bir şekilde arttı. 18. ve 19. Yüzyıllar sırasında, Avrupa şehirlerinin daha fakir ikametgahları muazzam olarak kirletilmiş, pahalı ve var olmayan kaynaklar ile iğrenç koşullar altında yaşadı.

Belediye su sistemleri, suyun yeterli miktarlarını sağlamasına rağmen, su kalitesinden sık sık şüphe edilir. Su filtreleme 1804'de İskoçya'da parsleyde inşa edilen ilk başarılı su kaynağı filtresi ile 19. yy ortalarına doğru ortaya çıktı. Klor ile suyun dezenfeksiyonu 1902'de Belçika'da başladı. İnsanın atıkları bertaraf etmesi en önceki şehirlerde hem bir baş belası hemde ciddi sağlık problemiydi.

Amerika'da şehirlere ait drenajın ilk sistemi 1700 civarında Boston'da inşa edildi. Amerika'da ilk ayrı atık sistemleri 1880'lerde inşa edildi. İlk tam arıtma sistemleri, son atıksu arıtma sistemlerinin bertaraf edilmesi popüler bir metod olan alanın su püskürtülerek sulanması y.y'ın dönüşü ile ele alındı. Halk sağlığı için araştırma, türlerin yok olmasıyla ilgili olarak öne sürüldü. Bir zamanlar varolmayan türler ve onların kimyasal bileşenleri artık tıpcılık ve diğer üretimleri yapmak için mevcuttur. Bu ilişkiler yüzünden, türlerin yok olması Federal tehlike olan türlerin hareketi ve sayısal durumları kanunlarla belirlendi. Bu kanunlardaki kuvvet, türlerin kendi kendisinin değeri değildir. Fakat insanlar için onun potansiyel değeri önemlidir.

Eğer, bir veya daha fazla ağır metal veya diğer zararlı maddeler içeren atık su, alıcı suya verilirse, o suda yaşayan organizmaları etkiler. Toplu olarak öldürülen balık kümeleri olur. Bazı pestisitler, ağır metaller ve radyoaktif elemanlar su

yaşamının besin zincirinde toplanır. O zaman, insanlar böyle balığı yerse, zehirlenir. Kurşun, arsenik aynı zamanda su yaşamında organizma üstünde toplanırsa, sonuç olarak, düşük seviyeli zehirlilik, göl, havza, haliç, nehir gibi su yataklarındaki her zamanki biyolojik yapıyı bozar. Fenole benzer kimyasal maddeler ve fenol suda düşük konsantrasyonlarda olsa bile, o suyun tadını ve kalitesini değiştirir. CH_4 , H_2S , CO_2 gibi istenmeyen gazlar suyun tabanının çamuru üstünde çözünmeyen maddelerle örtülmesiyle oluşur. Bunlar sudaki yaşam ömrünü tehdit eder. İnsan ömrü bu sonuç ile tehdit edilir. Örneğin, insan H_2S 'e bağlı olarak, deri hastalıklarına sahiptir. Nadir olarak hidrojen sülfid veya metil isonayte gibi malzemeler zehirlidirler. Onlar genel olarak, hastalıklara sebep olanlar kadar yüksek konsantrasyonlarda bulunmazlar. Onların etkileri normal olarak, tek bir tespit edilen şeyle sonuçlanmaz, fakat uzun periyotlar için tekrar edilen, tespit edilenin düşük konsantrasyonlarına kadar değişir. Sağlık çoğunlukla uzun sürede yönetilir, düşük- konsantrasyon teşhirleri (göstergeleri) kronik etkileri belirler. Kısa-süre, yüksek konsantrasyon teşhirleri (göstergeleri) akut etkileri belirler. Zararlı dozajın ne olduğunu belirleme için, biz bir dozaj cevap eğrisi kurmayı arzu ediyoruz. Bununla birlikte endüstriyel hijyende, eşik değeri olarak adlandırılan kirliliğin bir kaç konsantrasyonunun var olduğu gözlemlendi. Eğer, bir kirliletiçi için doz-cevap eğrisi kurmak istiyorsak, üç mümkün yaklaşım olan hayvan deneyleri, insanlar ile laboratuvar deneyleri ve insan nüfuslarının epidemiolojik çalışmalarını yapmalıyız. Enfeksiyon hastalıklarının büyük miktarı su ile iletilebilir. Tifo ve kolera gibi hastalıklara virüsler, bakteriler gibi patojenler sebep olur.

1.5 İÇME SUYU STANDARTLARI (TSE'ye göre)

İçme suyu için organik kirlilik hakkındaki standartlara bakacağız. Çünkü organik su kirliliğinin konsantrasyonlarını açıklamada bu değerleri referans olarak ele alacağız.

Çizelge 1.5.1: Suda Fazla miktarda Bulunması İstenmeyen Maddeler(TSE).

Madde	Sınıf 1		Sınıf 2
	Tavsiye edilen değer (GL)	Müsaade edilebilecek maksimum değer (MAC)	Müsaade edilebilecek maksimum değer (MAC)
Kloroformla Ekstrakte Edilebilen Maddeler, mg kuru kalıntı/l	0.1	0.5	0.2
Çözünmüş veya Emülsifiye Hidrokarbonlar; mineral yağlar, µg/l	-	10	10
Fenoller, µg C ₆ H ₅ OH/l	-	0.5	0.5
Yüzey Aktif Maddeler, µg loril sülfat/l	-	200	200

GL : Guide levels, MAC : Maximum Admissible Concentration

Çizelge 1.5.2: Toplam Bakteri Sayısı (TSE)

Özellik	Sınıf 1		Sınıf 2
	Tavsiye edilen değer (GL)	Müsaade edilebilecek maksimum değer (MAC)	Müsaade edilebilecek maksimum değer (MAC)
İçme ve Kullanma			

Suları (Kapalı Kaplardaki Sular Hariç) için Toplam Bakteri Sayısı, 1 mililitre numunede			
37°C'de	10	40	-
22 °C'de	100	500	-
Kapalı Kaplardaki Sular İçin Toplam Bakteri Sayısı, 1 mililitre numunede			
37°C 'de	5	20	20
22 °C'de	20	100	100

Çizelge 1.5.3: Toksik Maddeler (TSE)

Madde	Sınıf 1		Sınıf 2
	Tavsiye edilen değer (GL)	Müsaade edilebilecek maksimum değer (MAC)	Müsaade edilebilecek maksimum değer (MAC)
Pestisitler ve İlgili Ürünler, µg/l			
Organoklorlu İnsektisitler, herbir madde ayrı ayrı	-	0.1	0.1
PCB'ler, herbir madde ayrı ayrı	-	0.1	0.1
Herbisitler, herbir madde ayrı ayrı	-	0.1	0.1
Yukarıdaki Maddelerin Toplamı	-	0.5	0.5

PCB'ler : Polychlorinated bihenyls , $C_{12}H_{10-n}Cl_n$ genel formüle sahiptir.

Çizelge 1.5.4: Mikrobiolojik Özellikler (TSE)

Özellik	Sınıf 1			Sınıf 2	
	Tavsiye edilen değer (GL)	Müsaade edilebilecek maksimum değer (MAC)		Müsaade edilebilecek maksimum değer (MAC)	
		Membran Süzme Metodu	Çoklu Tüp Metodu (ÇTM)	Membran Süzme Metodu	Çoklu Tüp Metodu (ÇTM)
Toplam Koliformlar, 100 ml numunede, 37°C'de	-	0	ÇTM < 1	0	ÇTM < 1
Fekal Streptokok, 100 ml numunede,	-	0	ÇTM < 1	0	ÇTM < 1
100 ml numunede, 40 °C'de	-				
Fekal Koliformlar	-	0	ÇTM < 1	0	ÇTM < 1
Sulfite indirgeyen Klostridia, 20 ml numunede	-	-	ÇTM ≤ 1	-	ÇTM ≤ 1

ÇTM : Çoklu Tüp Metodu.

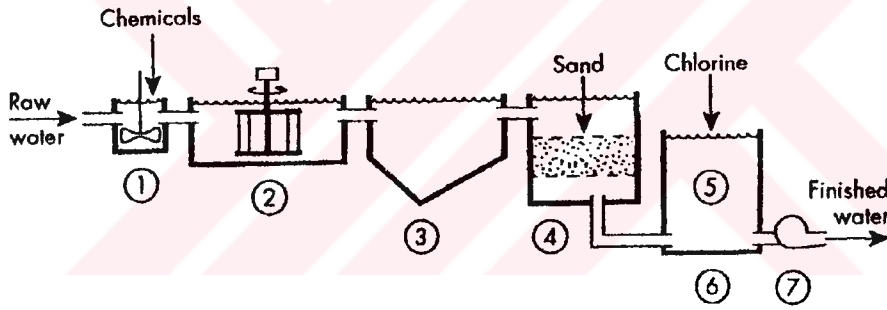
Diğer su parametrelerinin standard değerleri için Ek1'e bakabilirsiniz.

1.6 SU ARITMA İŞLEMLERİ

Çoğu yeraltı kuyuları ve izole edilmiş yüzey suları yüksek su kalitesindedir ve insan tüketimi, sulama ve endüstriyel işlemlerin ve yangın kontrolü gibi faaliyetlerin dahil edildiği kullanımlarda doğrudan doğruya iletim şebekesi ve kaynaktan belki pompalama yapılır. Bununla birlikte, temel olarak, nüfusun yoğun olduğu bölgelerde veya ağır tarımsal kullanımların var olduğu dünyanın çoğu bölümünde, temiz su kaynakları istisna olarak bulunur. Bu yerlerde, su kaynağı dağıtımdan önce arıtılmalıdır.

Saf olmayan kirleticiler, suya atmosferde yerin yüzeyinden toprak partikülleri arasına hareket ediyorken girer. Bu kirleticilerin background seviyeleri sık sık insan aktiviteleriyle elde edilir. Endüstriden kimyasal maddeler boşaltılır ve insanı etkileyen patojenik organizmalar suya karışır. Eğer suyun dağıtım sistemine girmesine müsaade edilirse, belki sağlık problemlerine sebep olabilir. Aşırı silt(kil) ve diğer katılar, suyu estetiksel olarak memnun olunmayan ve korkunç bir görünüme sahip kılacak şekilde değiştirebilir. Kurşun, çinko ve bakırın dahil edildiği, ağır metal kirliliği, kaynaktan tüketicilere su taşıyan çoğu borunun aşınmasına sebep olabilir. Biz potable su üreten veya hem güvenli hem memnun edici arıtma tekniklerini hedefleriz.

Tipik su arıtma işletmesi Şekil 1.6.1’de şekillendirildi. Renk, koku ve diğer içerikler ve bakteriler kadar çok turbidityi kaldırmak için dizayn edilir. Arıtma işlemleri karıştırma, pıhtılaşma, çökme, kum filtreleme, klorlama, ve dağıtım sistemlerine depolamadan oluşur. Bu adımlara şimdi bakalım.



Şekil 1.6.1: Su arıtma sistemi.[12]

Pıhtılaşma ve Topaklanma

Suda doğal olarak oluşan askıdaki kil partiküllerini kaldırmak zordur. Çünkü onlar küçüktür; sık sık büyüklük olarak kolloidaldir ve negatif yüklere sahiptir; böylece onlar daha kolay saf dışı bırakılabilen büyük partikül oluşumları meydana getirmezler. Bununla birlikte, partiküller etrafını çevreleyen yüklenmiş tabakalar, arasında bir enerji bariyeri oluşturur. Çökme ile bu partiküllerin kaldırılması sağlanır, şöyleki herbiri diğeri ile kolloid olduğu için teşvik edilen partiküller ve elektrik

yükleri birbirini nötrale ederek bu enerji bariyerinin indirilmesi sağlanır. Yük nötralleştirilmesi pıhtılaşma olarak adlandırılır ve daha küçük partiküllerden daha büyük pıhtıların inşa edilmesi topaklanma olarak adlandırılır. Böyle bir uç meydana getirmenin anlamı suya üç değerli katyon eklemektir. Bu iyonlar negatif olarak yüklenen partikülleri ısıtmak için kullanılacaktır ve bu yüzden onlar, tek değerli katyonları yerleştirme için daha kuvvetli bir yüke sahiptir. Bunun etkisi net negatif yükü azaltmış olacaktır. Bu koşullarda, partiküller herbiri diğerini reddetmeyecektir ve çarpışmadan sonra, birlikte kalınayacaklardır. Kararlı kolloidal süspansiyon, kararsız kolloidal bir süspansiyona dönüştürülür. Suyun arıtmadaki olağan üç değeri katyon kaynağı alumdur(Alüminyum sülfat).

Çökme

Topaklar oluşturulduğu zaman, onlar sudan ayrılmalıdır. Bu su partiküllerinden daha ağır olan partiküllerin dibe çökmesine izin veren yerçekimi-çökme tanklarında sabit bir şekilde yapılır. Çökme tankları türbülansı minimize edecek şekilde dizayn edilir ve partiküllerin dibe düşmesine müsaade edilir. Çökme tankının iki kritik elemanı su arıtma çökme tankını terketme ve ona girmeyi takip eden dağıtım için kullanılan giriş ve çıkış konfigürasyonlarıdır. Partiküllerin dibe çökmesi çamur akışı olarak bilinen şeyi oluşturur. Çamur akışı biyolojik olarak indirgenemez ve tankın dibinde bozunmaz. Biraz zaman sonra, genellikle birkaç hafta sonra tankın dibindeki çamur akışı birikimi kaldırılmak zorundadır.

Çökme tankları ideal çökme tankları kabul edilerek analiz edilebilir. Bu tanktaki suyun hayali bir kolonu bir uçtan girer, tank arasından geçer ve diğer bir uca varır. Bu kolon içindeki katı partiküller dibe varır ve kaldırılma için kabul edilen tankın en uzak ucuna kolon varmadan önce, bunların hepsi dibe yerleşir. Eğer bir katı partikül kolonun yukarısında tanka girer ve V_0 'lık hızda yerleşirse, tankta hayali olarak var olan su kolonu V hızında tank arasında hareket ederek dibe yerleşmiş olmalıdır.

Çökme tankının su tutma zamanı verilen bazı oranlarda tankı doldurmak için gerekli olan zaman miktarıdır veya tankta ortalama su partiküllerinin kalma miktarıdır. Matematik olarak, durma zamanı $t=V/Q$ olarak tanımlanır veya hacim

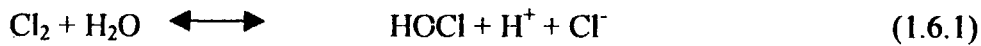
akış oranıyla bölünür. Çökme tankını terk eden su temel olarak temiz olmasına rağmen, o hala biraz bulanıklık içerebilir ve patojenik organizmalar taşıyabilir. İş çabuk bitirme hızlı kum filtresiyle yapılır.

Filtreleme

Katı partiküller yeraltı suyu filtrelemesine yardım eder ve bu prensip su arıtmasına uygulanır. Bütün durumlarda hemen hemen, filtreleme hızlı kum filtresiyle yapılır. Kum filtresi, suyun saflığını bozan maddeleri kaldırırken, kum taneleri kirletilir ve temizlenmelidir. Hızlı kum filtreleme işlemi bu yüzden iki işlemden oluşur: filtreleme ve arkayı temizleme. Çökme banyolarından su filtreye girer, kum ve gravel yatakları arasından süzülür, güvenilir zemin arasında ve elde edilen su temiz bir şekilde depo edilerek çıkardır. Filtre yatakları kumdan farklı diğer filtreleme malzemelerini içerebilir. Örneğin ezdirilme; daha büyük etkilerin başarılabilirdiği çift malzemeli filtreleme üretimde kum ile birleştirme sık sık kullanılır.

Dezenfeksiyon

Filtrelemeden sonra, elde edilen su sık sık klor ile dezenfekte edilir. Dezenfeksiyon çoğu patojenik olabilen suda kalan mikroorganizmaları öldürür. Varillerden ve şişelerden verilen klor gazı elde edilen suda istenilen seviyede klor elde etmek için suya doğru oranlarda ilave edilir. Klor gazı mikroorganizmaların dahil edildiği organik madde ile temas ettiği zaman, o malzemeleri okside eder ve kendi kendine azaltır. Klor gazı aşağıdaki reaksiyon yardımıyla hypochlorous asit oluşumuyla suda hızlı olarak hidrolize edilir.



Hypochlorous asit kendi kendine hypochlorous iyonuna daha ilerde iyonize olur.:



Su kaynak sistemlerinde genellikle bulunan sıcaklıklarda, HOCl iyonizasyonu aniden olurken klorun hidrolizi olağan olarak bir ikincil madde ile tamamlanır. Hem HOCl hemde OCl etkin dezenfektanlardır ve suda serbest olarak

bulunan klor patojenik bakterileri öldürür ve böylece suyu dezenfekte eder. Çoğu su işletme operatörleri, suda geri kalan kloru tutmayı tercih ederler; buradaki mevcut organik maddelerle reaksiyon veren klorun bırakılması demektir. Sonra eğer bakteriye benzer organik madde dağıtım sistemine girerse, bu potansiyel zararı giderme için yeterli klor mevcuttur. İçme suyundaki klor tatlanması suda klor kalıntısı bırakıldığını gösterir. Klor belki ters bir ikinci etkiye sahiptir. Kanserojen veya diğer ters sağlık etkisine sahip olan klorlu organik bileşiklerin üretimi, suda organik bileşiklerin miktarlarıyla birleşmiş olarak düşünülür. Bladder ve rectal kanserler ve kanser yapıcılık riskinin var olabileceğinin gösterildiği klorlu içme suyu tüketimi arasında bir bağ olduğunu bu durum göstermiştir.

1.7 ORGANİK SU KİRLİLİK ÖLÇÜMLERİ İÇİN DİĞER METODLAR

Kirleticilerin miktarlarını ölçme su kirliliğini kontrol etmeden önce, açık olarak gereklidir. Bununla birlikte, bu kirliliğin ölçümleri zorluklarla doludur. Bazen, kirlilikten sorumlu özel malzemelerin ne olduğu bilinmezdir. Ayrıca, bu kirleticiler, genellikle düşük konsantrasyonlarda mevcuttur ve deteksiyon için çok doğru metodlar gereklidir.

(A) Toplam Organik Kirliliğin Göstergelerinin Belirlenmesinin Metodları

Değişken çökelti(tutuşturmada sonra) (1 mg/L yukarısında)

Su örneği kuruluk için buharlaştırılır ve tartılır. Sonra 550°C'de tutulur ve organik madde yakılır. Çökeltinin ağırlığı o zaman ölçülür. Yakma sırasında, bazı organik bileşikler indirgenebilir veya okside edilebilir, böylece bu ölçümler yalnızca organik maddelerin miktarının yaklaşık olarak belirlenmesinin bir metodudur.

Biyokimyasal oksijen talebi (BOT) (HMSO 1988)

Organik bileşikler biyokimyasal olarak aerobik çözeltilerde ve nutrient ve mikroorganizmaların bulunduğu durumda indirgenebilirler. Son indirgenme ürünleri inorganik bileşiklerdir. Organik bileşiklerin miktarlarının ölçümü, oksijen tüketimi ile ilişkilendirilir. Genel olarak BOT₅ ölçülür, örneğin, 20°C'de 5 günlük bir periyot sırasında oksijen tüketimi. Metod, kolaylıkla indirgenebilir organik bileşiklerin miktarlarının gösterimini verir. Bununla birlikte, sonuçlar yalnızca yaklaşıktır. Çünkü, farklı maddeler farklı oranlarda indirgenir. Daha iyi bir gösterim son derece uygun BOT belirlenmesi ile elde edilir, fakat, böyle ölçümler, yaklaşık olarak 20 gün civarında fazlasıyla uzundur. BOT test nitrifikasyon bastırarak veya bastırmadan yapılabilir. Eğer nitrifikasyon bastırılamazsa, oksijen tüketimi organik maddelerin bozulması ve nitrat için amonyumun oksidasyonu içindir. Nitrifikasyon bastırması allyl thiourea (ATU) ile elde edilir.

Kimyasal Oksijen Talebi (KOT) (HMSO 1986)

Organik bileşikler permanganatlar, dikromatlar veya periodatlar gibi kuvvetli okside edicilerin kullanımıyla standart koşullar altında okside edilir. Oksidasyonun metodları KOT_{KMnO₄}, KOT_{K₂CrO₇} ve KOT_{KIO₄} gibi özelleştirilmelidir. Sonuçlar, tüketilen oksijenin miktarı olarak verilir. Metodlar, yalnızca, yaklaşık belirlemeler verir. Çünkü, onlar bütün okside edilebilir organik bileşik miktarlarını vermez. Yalnızca standart koşullar altında okside edilebilenlerini verir. KOT değerleri, BOT₅ değerlerinden daha yüksektir.

Organik Karbon (HMSO 1979)

Organik maddeler, bir katalizör ile karbondioksit için yaklaşık 950°C sıcaklıkta okside edilir. Üretilen Karbondioksit infrared absorption ölçümüyle spektrometrik olarak belirlenir. Metod, toplam organik madde miktarının belirlenmesine müsaade eder. Toplam organik karbon(TOK) filtre edilmemiş su örneği ile belirlenir. Çözünen organik karbon(ÇOK) filtrelenen örnekler ile (0.5 µm) belirlenir.

Diğer kesirler çözünmeyen organik karbondur(ÇNOK) ve arındırılabilir
Örneğin değişken organik karbon. Sonuç mg C /L ile verilir.

Toplam Oksijen Talebi (TOT)

Metod, 950°C'de katalizörün var olması ile organik maddelerin oksidasyonuna dayandırılır. Önceden belirlenmiş bir oksijen miktarı yanma odasına sokulur ve ölçme işlemi süresince oksijen azalır. Sonuç mg O₂/L ile verilir. Bu metod toplam organik bileşiklerin tahmini konsantrasyonunu verir.

Morötesinde Absorbance Ölçümü

Filtrelemeden sonra, 254nm'de su örneğinin absorbansı ölçülür. Sonuçlar belirli bir dalga boyunda bir absorbans ile verilir. Bu özel bir metod değildir. Organik bileşiklerin yalnızca bir kısmı belirlenir. Metod sürekli su kalitesi monitörleme durumunda sabit bir noktada su kalitesindeki değişimi monitörleme için yararlıdır.

Karbon Kloroform extract (KKE). (Standart Metodlar1971)

Suyun büyük bir hacmi aktif edilen karbon içeren bir filtre arasından geçirilir. Aktif edilen karbon üstünde adsorbedilen organik bileşikler, daha sonra kloroformla ekstrak edilir. Kloroform ekstraktı o zaman buharlaştırılır ve çökelti tartılır (Standart Metodlar 1989). Extraction için, alkol alternatif olarak kullanılabilir, fakat sonuçlar sonra karbon alkol ekstraktı(KAE) olarak ifade edilir.

Her Organik Bileşiği Ölçme Metodu

Yüzey suyunda, birkaç yüz organik bileşik vardır. Bu organik bileşikler detekte edilebilir konsantrasyonu oluşturur; ekolojik olarak ve sağlık bakımından önemlidir. Her organik bileşik için yaygın olarak kullanılan belirleme metodları, gaz kromatograf(GK), yüksek performanslı sıvı kromatograf(HPSK) ve kütle spektrometrisi ile kuplajlanan kromatograf(KKKS). Bazı özel organik bileşikler spektrometrik ve fluometrik metodları ile belki belirlenir.

(B) Organik Bileşiklerin, Biyolojik İndirgenabilirliğinin Ölçülmesinin Metodları (HMSO 1981, Pitter and Chudoba 1990)

Biyolojik indirgenebilirliğin ölçme metodları iki gruba bölünebilir.

-Doğal su koşullarını simüle eden metodlar

-Biyolojik olan atık su arıtma işlemlerinde oluşan koşullarda simüle eden metodlar

İlk grupta, suda organik bileşiklerin bozunmasının belirlendiği yerde, metodlar BOT belirlenmesine dayandırılır. Respirometrik ölçümler, nehir suyunda organik maddelerin bozunması ve su yaşamı ekolojisinin modellenmesi bu grupta yer alır. İkinci grupta, anaerobik koşullar tekrar üretilerek ve kırma taşlı filtreler kullanılarak, yapılan girişimler aktif edilen çamurun kullanımı ile su arıtma metodlarını simüle etmek için yapılır.

(C) Temel ürün ölçme Metodları

Temel ürün, inorganik karbonun(CO_2) organik bileşenlere dönüşümü olarak tanımlanabilir. Üreticiler temel olarak klorofil içeren bitkilerdir. Fotosentez sırasında, farklı organik bileşenler üretilir ve eş zamanlı olarak bir CO_2 tüketimi ve oksijen serbestliği vardır. Temel ürün bu yüzden çözünen organik (ÇO) ve CO_2 konsantrasyon değişikliklerinin ölçümleri ile belirlenebilir. Üreticilik üretim oranları ile belirlenir ve bir günde metrekaşe başına sabitleştirilmiş gram olarak karbon rapor edilir. Düşük-bufferdaki(tutulmuş) sular, ürününün göstergesi pH değişiklikleri olabilir. Çünkü miktarı azalırken, pH değeri artar. İyi toplanmış sular bu işlemdeki gibi varolmaz.

Fotoplankton temel ürünlerini ölçme metodları

Aydınlık ve karanlık şişeler metodu (Standard Methods 1989).

Su örnekleriyle doldurulmuş aydınlık ve karanlık şişeler tespit yapılan yerde su rezervlerine yerleştirilir. Ve suyun çözünen oksijen ölçümü testin başlangıcında alınır ve çözünen suyun oksijen ölçümü önceden belirlenmiş zamanda ölçüldükten sonra, oksijen miktarındaki farklılık tespit edilir. Oksijen miktarı 12/32'lik faktörün kullanımı ile karbon miktarına dönüştürülür. 1molluk karbon (12g) sabitleştirildiği

ve radyoaktif karbon 14 ile metod yapıldığı zaman (Standard Methods 1989), 1molluk O_2 (32g) bulunur. Radyoaktif karbonat($^{14}CO_3^{2-}$) su örnekleri ile doldurulmuş açık ve koyu şişelere eklenir. Şişeler tespit edilen yerde su rezervine koyulur. ^{14}C , ^{12}C ile basit tarzda reaksiyon gösterir. Kuluçka devresinde örnek 0.45 μm 'lik filtre arasında filtrelendir. Filtre üstündeki tortu, inorganik karbon $^{14}CO_2$ 'u kaldırmak için hidroklorik asit ile işlem görür ve filtrenin radyoaktifliği ölçülür. Sabitleştirilmiş karbon miktarı düzenlenmiş radyoaktif karbonun kesri ile orantılıdır. Metod yalnızca net üretimin bir ölçümünü verir.

Organik su kirliliğini ölçme metodlarına birkaç örnek verildi.

Gaz Kromatografik Metod

Gaz Kromatograf James ve Martin tarafından 1952'de tanıtıldı. Bu alet bir karışımda bileşenlerin zamanla ayrımını sağlar. Gaz Kromatografın temel işlem prensibi ısıtılan giriş portundaki örneğin buharlaştırılmada dahil edilir. Özellikle, hazırlanan kolonda karışımın bileşenlerinin ayrımı ve bir detektör ile herbir bileşenin deteksiyonu da bu işleme dahil edilir. İnjektörden örneği kolon arasından ve detektörden transfer etmek için, Gaz Kromatografisinin önemli bir gerçeği hidrojen veya helyum gibi gaz taşıyıcılarının kullanımıdır. Kolon veya kolon paketlenmesi, durağan fazın örtülmesini içerir. Bileşenlerin ayrımı taşıyıcı gaz(mobile gaz) ve durağan gaz arasındaki herbir bileşenin dağıtımı ile belirlenir. Durağan fazda küçük bir zaman geçiren bir bileşen hızlı olarak ayrılır. Yalnızca, bozunmamış buharlaştırılabilen bu malzemeler, GK analizi için uygundur. Bu yüzden, gaz kromatografinin anahtar elemanları injektör, detektör ve hatları transfer edenler ve kolonların sıcaklık kontrolünün programlanmasına müsaade eden sistemlerdir.."[26]

Fluorimetrik metod

Uyarılma işlemi sırasında (İşlem 1), Uyarılan elektronik seviyenin bazı titreşimsel alt seviyelerinin termine edilmesinin oluşturduğu etkiden etkilenen moleküllerin çoğu titreşimsel enerjiye sahip olur. Meyil, en düşük titreşimsel seviyeye düşmek için böyle uyarılan moleküllerin çoğunluğu içindir, çarpışmalar sırasında enerji kaybedilmesi (İşlem II) olayı ikinci işlemdir. Bu ışımsızlık işlemi,

The diagram illustrates the energy levels and transitions in a fluorimetric spectrum. It features two sets of horizontal lines representing energy levels. The left set has levels labeled v_0, v_1, v_2, v_3, v_6 and is associated with a vertical axis labeled S_1 . The right set has levels labeled v_1, v_2, v_3, v_4 and is associated with a vertical axis labeled T_1 . Transitions are shown as vertical arrows: upward arrows from v_0 to v_1, v_2, v_3, v_6 are labeled (a); downward arrows from v_6 to v_1, v_2, v_3, v_0 are labeled (b); and a downward arrow from v_1 to v_0 is labeled IV. A horizontal arrow labeled V points from the left set to the right set. On the right set, transitions are labeled: a downward arrow from v_4 to v_1 is labeled VI; a downward arrow from v_3 to v_1 is labeled VII; a downward arrow from v_2 to v_1 is labeled VIII; and a downward arrow from v_1 to v_0 is labeled IX. A horizontal dashed line labeled R is positioned between the two sets of energy levels. Vertical arrows labeled c, d, and e point from the R line to the v_1 level of the right set.

elektron ışıının bir elektronu ile gaz fazında molekülden tek bir elektron kaldırılmasıdır. Eğer moleküler iyonlar detektörde görülecek kadar yeterince uzun etkileşimde kalırsa, biz moleküler iyon peakini görebiliriz. Önemli olan moleküler iyon peakini tanımdır. Çünkü, bu bileşenin moleküler ağırlığını verir. Kütle spektrumu onların relatif konsantrasyonuna karşı pozitif yüklü parçacıkların kütlelerinin eldesidir. Temel peak olarak adlandırılan spektrumdaki en yoğun peak, %100'lük bir değerle tayin edilir ve diğer peaklerin yoğunlukları, moleküler iyon peakinin de dahil edildiği temel peakin yüzdeleri olarak kaydedilir. Tecrübelerle bulunan örneklerin avantajlarına sahiptir. Grafik hızlı olarak elde edilebilir.

Infrared Spektrometrik metod

Infrared(IR) ışıının umumiyetle mikrodalga ve görünür bölgeler arasındaki elektromagnetik spektrumunun kısmına aittir. Organik kimyanın en büyük pratiksel kullanımı 4000 ve 400 cm^{-1} arasında sınırlandırılan kısımdadır. Yaklaşık 100 cm^{-1} 'den daha az olan infrared ışıının frekansları moleküler ışıının enerjisine bir organik molekül tarafından döndürölür ve absorp edilir. Bu absorption kuantize edilir; böylece bir moleküler dönme spektrumu farklı çizgilerden oluşur.

14290-4000 cm^{-1} 'lik IR'ye yakın ve 700-200 cm^{-1} 'lik uzak-IR bölgelerinde, birkaç ilginçlik vardır. Çok basit bir molekül oldukça karmaşık bir spektrum verebilir. Organik kimya, hakiki bir örneğin spektrumuna karşılık bilinmeyen bir bileşenin spektrumunun seçilmesi durumunda bu karmaşıklığın avantajlarını kullanır. Peak peak ilişkisini tanımlamak için mükemmel bir delildir.

Proton Magnetik Rezonans Spektrometri

IR veya UV spektrometrilerine benzeyen nükleer magnetik rezonans (NMR) spektrometrisi temel olarak, absorption spektrometrisinin diğer bir oluşumdur. Magnetik alanda, uygun koşullar altında, bir örnek örneklerin karakteristikleriyle hükmedilen frekanslarda radyo frekans bölgesinde(RF) elektromagnetik ışıının absorp edilebilir. Absorption molekülde mutlak çekirdeğin bir fonksiyonudur. Peak

yoğunluklarına karşı absorption peaklerinin frekanslarının çizimi bir NMR spektrumunu oluşturur. NMR spektrasının izahı genel olarak kütle spektrası veya IR için olan tanımdan daha detaylı olarak yapılabilir. Mevcut hesap sınırlanan görünüm için yeterli olacak ve diğer spektrometrik bilgi ile bağlantılı organik bileşiklerin tanımlanması sağlanacaktır.

C NMR Spektrometrisi

Nükleer magnetik rezonans spektrometrisinin daha önceki gelişimi sırasında bir seçimle karşı karşıya bırakılan organik kimyacıların çoğu, kesinlikle belirlemede karbon çekirdeklerini seçecekti. Bütün bunlardan sonra, halkalı karbon çatıları ve zincirleri organik kimyanın merkeziydi. Problem, elbette, NMR spektrometrisi için erişilmez ^{12}C çekirdeğinin hemen hemen tamamen karbon ^{13}C çekirdeğine dönüşmesi ile yapılır. Bir NMR aleti sık sık verilen bir magnetik alan yoğunluğunda, bir partiküler çekirdek için rezonans frekansının terimleriyle tanımlanır. 7.05-T magnetli bir alet böylece protonlar için 300MHz'lik frekansla tanımlanır. Protonlar için bir 11.7-T magnet, 500- MHz'e karşı düşer.

NMR Spektrometri Bağı

Şimdilerde, karmaşık organik moleküller basitçe geniş çeşitlilikteki yapıların NMR spektrometrelerinde tanımlanan tamamlayıcı bilgiyi kullanarak aydınlatılabilir. “darbe mantığı” magnetik alandaki bir RF darbesinde ve sinyal kazancında bir denge oluşturur. Bu mantık tatminkar sinyal elde edilene kadar tekrar edilir. FID denilen Fourier dönüşümü frekans-domen spektrum ailesiyle sonuç çizilir.

2 MATERYAL METOD

2.1 METOD

Metodumuzu anlatmadan önce, temel özellikleri verdik. Metod bu özelliklere dayalıdır. İlk olarak, serbest uzayda elektromagnetik dalgaları ele alacağız.

Serbest Uzayda Elektromagnetik Dalgalar

Serbet uzayda, elektromagnetik dalgalar oldukça basit davranır. Ancak onların katılarla etkileşiminin çok daha karmaşık olduğu bilinmektedir. Bu alandaki gelişme, frekans-bağımlı dielektrik fonksiyonu $\epsilon(\omega)$ ve absorpsiyon katsayısı $\alpha(\omega)$ gibi katıların mikroskopik doğasının karakteristik büyüklüklerinin yarı iletkenin elektromagnetik davranışı ile ilişkilendirilebildiğini gösterir. Bunlar, gerçekten spektroskopik olarak ölçülen yansıtıcılık, iletim ve infrared ölçümleriyle belirlenen absorpsiyon, Raman deneylerinde görülen saçılan ve frekans kaymalı yoğunluk ve fotolüminans çalışmasında gözlemlenen luminans yoğunluğu büyüklüklerinin birbirleriyle bağlanmasına benzer.

Maxwell denklemleri temel elektromagnetik davranış gösterir. Serbest uzayda onların çözeltileri, ışığın sabit hızda yayılmasında, elektrik ve magnetik alanların dikey hareket etmesinin meydana getirilmesi sönmemiş transverse dalgalar tanımlar. Fakat, karmaşık çevrede bulunan bir katı içinde elektromagnetik alan teşkil edilen yoğunluklarla etkileşerek, dalgalar bastırılır, uzayda var olmayan yeni fenemonya üretmeden, dalgalar bastırılır, katılara enerji aktarılırken, yayılma hızı frekansa dayanır ve dikey elektromagnetik dalgalar oluşabilir.

İlk olarak, Maxwell denklemleri, serbest uzayda test edilir. Bu elektrik alan ile akım ve yük arasında bir ilişki vardır. Bu çalışma, magnetik etkilerin ihmal edilmesi haricinde geneldir. Bu tartışmadan sonra, spektroskopik büyüklükler, yansıma, iletim

ve absorpsiyon ve karakterizasyon ölçümleri için önemli diğer optiksel parametrelerin ifadeleri çıkartılır.

Işığın klasikdenklemini tamamlama için Maxwell denklemleri, farklı birim sistemleri kullanılarak yazılır. Bununla birlikte, uluslararası olarak kabul edilen birim sistemi SI'dır veya bu kısımda kullanılan MKSA sistemidir.

SI birimlerinde Maxwell denklemleri:

$$\nabla \times H = j + \partial D / \partial t \quad (2.1.1)$$

$$\nabla \times E = - \partial B / \partial t \quad (2.1.2)$$

$$\nabla \cdot D = \rho \quad (2.1.3)$$

$$\nabla \cdot B = 0 \quad (2.1.4)$$

Burada H magnetik alan şiddetidir, J akım yoğunluğu, D yer değiştirme vektörüdür. E elektrik alan, B magnetik indüksiyon, ρ serbest taşıyıcı yük yoğunluğu, t zaman ve ∇ gradyant vektörüdür. Bu vektörün kartezyen koordinatlarda ifadesi $i\partial / \partial x + j\partial / \partial y + k\partial / \partial z$ 'dir.

Bu denklemler, onlara tesir edici gücün hesaba katılmasıyla başka bir tanımı da mevcuttur. Bununla birlikte, bu denklemler, D ve E ; B ve H arasındaki ilişkiler tam bilinene kadar çözülemedi. Temel tanımlar:

$$D = \epsilon_0 E + P = \epsilon \epsilon_0 E \quad (2.1.5)$$

$$B = \mu_0 H + M = \mu \mu_0 B \quad (2.1.6)$$

Burada ϵ_0 uzayın permitivitisidir ($8.85 \times 10^{-12} \text{ C}^2 \text{ N}^{-1} \text{ m}^{-2}$), P birim hacim başına elektrik dipoldür. μ_0 serbest uzayın permeabilitesidir ($4\pi \times 10^{-7} \text{ N s}^2 \text{ C}^{-2}$), M birim hacime düşen magnetik dipoldür. ϵ vakumdan farklı diğer bir ortamın elektriksel permitiviteliğidir ve μ vakumdan farklı diğer bir ortamın magnetik permeabilitesidir. Genel olarak oluşturulan denklemler ortamın parametrelerini bilmeksizin detaylı olarak yazılamaz. Denklemler yazıldığı zaman, mikroskopik elektromagnetik-katı etkileşimi tüm fizik kurallarını içerir. Elektrostatik veya magnetik polarizasyonu hesaba katmazsak teşkil edilen denklemler

$$D = \epsilon_0 E \quad (2.1.7)$$

$$B = \mu_0 H \quad (2.1.8)$$

olur. Maxwell denklemlerinde bu bilginin yerine konulmasıyla, uygun düzenlemeler yapılarak, elektrik ve magnetik alanlar bulunur.

$$\nabla^2 E = \epsilon_0 \mu_0 \partial^2 E / \partial t^2$$

(2.1.9)

ve

$$\nabla^2 B = \epsilon_0 \mu_0 \partial^2 B / \partial t^2$$

(2.1.10)

Bu denklemler, dalga denklemlerinin standart oluşumlarıdır. Bunlar, B ve E alanları arasında mutlak bir paralellik gösterir ve her elektromagnetik dalga herikisinden oluşur. Denklem (2.1.9) oluşumu standart çözüm ortamı ile belirlenen hızda yayılan dalganın hareket denklemdir. Hareket denklemi, yaygın olarak, karmaşık(kompleks) bir terim olan $e^{i(q \cdot r - \omega t)}$ ile ifade edilir. Burada r yerdeğiştirme vektörü, t zaman, q dalga yayılımının yönüyle aynı işarete ve $2\pi/\lambda = 2\pi k$ 'lik şiddete sahip olan dalga vektörü λ dalga boyu ve $k = 1/\lambda$ dalga sayısıdır. ω açısal frekanstır ($2\pi\nu$), hertz birimindeki hareket eden dalga frekansı ν 'dür. Bu çözümde, dalga yayılımının hızı ω/q 'dur. Dalga davranışını göz önüne getirmek daha kolaydır ve eğer dalga pozitif z eksenini boyunca yayılıyorken alınır, çözüm hala en genel haldedir. O zaman kabul edilen çözüm

$$E(z,t) = E_0 e^{i(qz - \omega t)} \quad (2.1.11)$$

burada E_0 vektörü elektrik alanın maksimum kuvveti ve yönünü tanımlar. Bu denklemin(2.1.9)'a konulmasıyla, bu denklem elde edilir.

$$q^2 = \epsilon_0 \mu_0 \omega^2 \quad (2.1.12)$$

Elektrik alan için verilir.

$$E = E_0 e^{i\omega(z (\epsilon_0 \mu_0)^{1/2} - t)} \quad (2.1.13)$$

Denklem(2.1.12) ilk yayılma denklemdir. Bu dalga sabit bir dalga yayılım hızına $c = \omega/q = 1/(\epsilon_0 \mu_0)^{1/2}$ sahip olur. Vakumda ışığın hızı $3 \times 10^8 \text{ ms}^{-1}$ 'dir. Işığın elektromagnetik dalga olduğunu ilk gösteren Maxwelldi.

Eğer Maxwell denklemleri B için çözülürse, sonuç magnetik alan, aynı hızda yayılan, elektrik alana eşlik eder. Fakat E'ye dik hareket ederken, transverse tipli elektromagnetik dalgalar yaparlar. Hem E hemde B yayılma yönüne dik hareket eder. Dalgaların transverse olduğu gerçeği, Maxwell denklemlerinin doğrudan doğruya üçüncüsünden gelir. $\nabla \cdot D = \epsilon_0 \nabla \cdot E = 0$; $\rho=0$ olduğu zaman; bu hemen $q \cdot E=0$ verir, bu E alanı yayılma yönüne dik demektir. $E(z,t)$ için denklem (2.1.13)'deki çözümde hiçbir şey dikkate alınmaz, bir dalga yayılımı serbest uzayda hiçbir şeyle karşılaşmadığı için enerji kaybına sebep olmaz ve daha fazla vakumda, asla genlik kaybetmez.

Kullanılan metodu öğrenmek için, bazı fiziksel kabulleri bilmeliyiz. Bir elektromagnetik dalga bir malzeme ile etkileştiği zaman, kendiliğinden yayınım, uyarılmış yayınım ve absorpsiyon işlemleri meydana gelir.

Kendiliğinden Yayınım

Verilen bir malzemede enerjileri E_1 ve E_2 ($E_1 < E_2$) olan 1 ve 2 enerji seviyelerini düşünelim. Aşağıdaki tartışmada iki seviye malzemenin sahip olduğu seviyelerin sonsuz kümesinin herhangi ikisi olabilir. Bununla birlikte, 1 seviyesi taban seviyesi olarak adlandırılması yaygındır. Şimdi, malzemenin bir atomunun (veya molekülünün) başlangıç olarak 2 seviyesinde olduğunu kabul edelim. $E_2 > E_1$ iken, atom 1 seviyesine bozunma eğiliminde olacaktır. Bu yüzden $(E_2 - E_1)$ enerji farkına karşı düşen atom tarafından gerçekleştirilmelidir. Bu enerji elektromagnetik dalga'nın oluşumuyla ifade edildiği zaman, işlem kendiliğinden yayınım olarak adlandırılabilir. Işıyan dalga'nın ν frekansı (o zaman Planck'a bağlı olarak) ifadesi ile verilir.

$$\nu = (E_2 - E_1)/h \quad (2.1.14)$$

Burada h Planck sabitidir. Atom 2'den 1 seviyesine bozunduğu zaman, kendiliğinden yayınım bu yüzden $h\nu = E_2 - E_1$ enerjilik bir fotonun yayınımı ile karakterize edilir. Bozulma ışınım olmayacak bir yollada oluşabilir. Bu durumda enerji farkı $E_2 - E_1$ elektromagnetik ışıyımından farklı diğer birkaç oluşum ile ifade edilir. (Örneğin, bu fark belki, molekülün çevresinde kinetik enerjiye dönüşür.)

Kendiliğinden yayınım olasılığı aşağıdaki yolla karakterize edilir. Şimdi, t zamanında seviye 2'de birim hacim başına N_2 atomun var olduğunu kabul edelim. Bu atomların bozulma oranı kendiliğinden yayınımına bağlıdır. Örneğin $(dN_2/dt)_{sp}$, açık olarak N_2 ile orantılı olacaktır. Bu yüzden aşağıdaki denklemi yazabiliriz.

$$(dN_2/dt)_{sp} = -AN_2 \quad (2.1.15)$$

A katsayısı Einstein katsayısı veya kendiliğinden yayınım olasılığı olarak adlandırılır (A için termodinamik kabullerden ilk olarak Einstein tarafından bir ifade elde edildi).

$\tau_{sp} = 1/A$ büyüklüğü kendiliğinden yayınım ömrü olarak adlandırılır. A 'nın sayısal değeri partiküler geçişe dayandırılır.

Uyarılmış Yayınım ve Absorpsiyon

Uyarılmış yayınım

Şimdi tekrar, atomun başlangıç olarak 2 seviyesinde bulunduğunu farzedelim ve (2.1.14) ile verilen ν frekanslı elektromagnetik dalga malzemeye gelsin. Bu dalga atomik frekans ile aynı frekansa sahip olduğu için, bu dalganın $2 \rightarrow 1$ geçişine maruz kalması için atomu harekete geçirmede sonlu bir olasılık vardır. Bu durumda enerji farkı ($E_2 - E_1$) gelen dalgaya eklenen elektromagnetik dalga oluşumuyla ifade edilir. Bununla birlikte, kendiliğinden ve uyarılmış yayınım arasında temel bir fark vardır. Kendiliğinden yayınım durumunda atom bir elektromagnetik dalga yayar. Bu dalga diğerleri tarafından yayılanlar ile belirli bir faz ilişkisine sahip değildir. Ayrıca, dalga herhangi bir yönde yayılabilir. Uyarılmış yayınım durumunda ise, işlem gelen elektromagnetik dalga ile kuvvetlendirildiği için, herhangi bir atomun yayınımlı gelen dalganın fazına eklenir. Bu dalga, aynı zamanda yayılan dalganın yönünü belirler.

Bu durumda da, aşağıdaki denklem ile işlemi karakterize edebiliriz.

$$(dN_2/dt)_{st} = -W_{21}N_2 \quad (2.1.16)$$

Burada $(dN_2/dt)_{st}$ uyarılmış yayınının sonucu olarak $2 \rightarrow 1$ geçişinin oluşturulduğu orandır ve W_{21} uyarılmış geçiş olasılığı olarak adlandırılır. Yalnızca (2.1.15) ile tanımlanan A katsayısının durumunda W_{21} (zaman)⁻¹'lik boyuta sahiptir. Bununla birlikte, A gibi olmayan W_{21} yalnızca özel geçişlere dayalı değildir, aynı zamanda gelen elektromagnetik dalganın yoğunluğuna bağlıdır. Daha hassas olarak, bir düzlem elektromagnetik dalga,

$$W_{21} = \sigma_{21} \cdot F \quad (2.1.17)$$

yazabildiğimiz şekilde gösterilecektir. Burada F gelen dalganın foton akısıdır ve σ_{21} alan boyutlarına sahip olan bir büyüklüktür (uyarılmış-yayınım ara kesiti (cross section olarak adlandırılır) ve verilen geçişin yalnızca karakteristiklerine dayandırılır.

Absorpsiyon

Şimdi atomun başlangıç olarak seviye 1'de bulunduğunu kabul edelim. Eğer bu taban seviyesinde ise, atom bu seviyede harici uyarılma ona uygulanmaksızın, aynı kalacak. O zaman, kabul edeceğiz ki (2.1.14) ile verilen ν frekanslı bir

elektromagnetik dalga malzeme üstüne gelsin. Bu durumda 2 seviyesinde oluşabilecek atomun sonlu bir olasılığı vardır. Atomu geçişe maruz bırakmak için gerekli olan enerji farkı ($E_2 - E_1$) gelen elektromagnetik dalganın enerjisinden elde edilir. Bu absorpsiyon işlemidir. (2.1.16)'ya benzer tarzdaki denklemi yazarak, W_{12} absorpsiyon oranını tanımlayabiliriz.

$$dN_1/dt = -W_{12}N_1 \quad (2.1.18)$$

Burada, N_1 , verilen zamanda 1 seviyesinde bulunan atomların sayısıdır (birim hacim başına). Ayrıca tıpkı (2.1.17)'deki gibi

$$W_{12} = \sigma_{12} \cdot F \quad (2.1.19)$$

yazabiliriz. Burada σ_{12} yalnızca özel geçişlere dayanan bir karakteristik alandır. Son olarak, $\sigma_{12} = \sigma_{21}$ olduğu not alınabilir. Einstein'nin yüzyılın başlangıcında gösterdiği gibi, uyarılmış yayılım ve absorpsiyon olasılıkları eşittir. Bu yüzden şimdiden $\sigma_{12} = \sigma_{21} = \sigma$ yazacağız ve σ 'yı geçiş ara kesiti olarak kabul edeceğiz. Verilen bazı seviyelerde birim hacim başına düşen atomların sayısı bu seviyenin atom sayısı olarak adlandırılacak.

Hesaplama madde ve ışın etkileşiminin yarı-klasik davranışı olarak adlandırılan kullanımını yapacağız. Bu iyileştirmede, gelen dalganın elektromagnetik alanının klasik olarak davranması durumunda, atomik sistemin kuantize edilebildiği kabul edilir. Biz olağan iki sistem düşünelim, burada kabul ettiğimiz bu iki seviyeli sistemde, $t=0$ zamanında, atom taban durumundadır ve ω frekansında monokromatik elektromagnetik dalga bu sistem ile etkileşimde bulunur. Klasik olarak, atom bir ek enerji H' elde edecek. Örneğin, bu belki elektromagnetik dalganın E elektrik alanı ile ($H' = \mu_e \cdot E$), μ_e atomun elektrik dipol momentinin etkileşimine bağlı olur. Elektromagnetik dalga ile etkileşme olduğu zaman, bu durumda elektrik dipol moment etkileşiminden bahsedeceğiz. Bununla birlikte, bu yalnızca geçişin oluşabildiği etkileşim tipi değildir. Örneğin, geçiş, elektromagnetik dalganın B magnetik alanı ile μ_m atomun magnetik dipol momentinin etkileşimiyle de sonuçlanabilir. Bu iki seviyeli sistemin zaman değerlendirilmesini tanımlamak için, kuantum mekaniğinden yararlanabiliriz. Böylece, tıpkı klasik B davranışının H etkileşim enerjisinin elde edilmesinde olduğu gibi kuantum mekaniksel yaklaşım bir Hamilton etkileşimi H tanımlar. Bu Hamilton kuantum mekaniğinin çok iyi bilinen kurallarına göre H' için klasik ifadeden elde edilebilir. Bu noktada H' 'nin tam ifadesi ile ilgilenmiyoruz. Yalnızca, H' 'nin gelen dalganın kine eşit ω frekanslı zamanın

sinüzoidal bir fonksiyonu olduğuna dikkat ederiz. Bundan dolayı aşağıdaki denklemi elde ederiz.

$$H' = H'^0 \sin \omega t \quad (2.1.20)$$

Atom için toplam Hamilton H o zaman aşağıdaki gibi yazılabilir.

$$H = H_0 + H' \quad (2.1.21)$$

Burada atomik Hamilton elektromagnetik dalganın yokluğunda H_0 'dır. Bir kez toplam Hamilton H , $t > 0$ için bilinirse, atomun dalga fonksiyonu ψ 'nin zaman değerlendirilmesi zaman-bağımlı Schrödinger denkleminde elde edilir.

$$H \psi = i \hbar d\psi/dt \quad (2.1.22)$$

(2.1.22)'deki, ψ fonksiyonunu çözmek için aşağıdaki tanımlamalarla konuya giriyoruz.

$$\psi_1 = u_1 \exp[-(i E_1 t / \hbar)] \text{ ve}$$

$$\psi_2 = u_2 \exp[-(i E_2 t / \hbar)],$$

sırasıyla 1 ve 2 seviyelerinin eigen fonksiyonlarıdır. Böylece u_1 ve u_2 zamandan-bağımsız Schrödinger denklemi ifade eder.

$$H_0 u_i = E_i u_i \quad (2.1.23)$$

Elektromagnetik dalganın etkisi altında atomun dalga fonksiyonu

$$\psi = a_1(t) \psi_1 + a_2(t) \psi_2 \quad (2.1.24)$$

gibi yazılacak. Burada, genel olarak a_1 ve a_2 zaman-bağımlı kompleks sayılar olacak. Kuantum mekaniğinden çok iyi bilinen bir sonuçta, 1 ve 2 seviyelerinde bulunacak atomların t zamanındaki olasılıkları sırasıyla $|a_1|^2$ ve $|a_2|^2$ katsayıları ile verilir. Bunlar aşağıdaki ilişkiye uygun davranırlar:

$$|a_1|^2 + |a_2|^2 = 1 \quad (2.1.25)$$

Bu yüzden W_{12} geçiş olasılığını hesaplamak için, $|a_2(t)|^2$ (veya $|a_1(t)|^2$) miktarlarını hesaplamalıyız. Daha genel olarak (2.1.24)'nin yerine aşağıdaki denklemi yazacağız.

$$\psi = \sum_1^m a_k \psi_k = \sum_1^m a_k u_k \exp[-(i E_k / \hbar) t] \quad (2.1.26)$$

(2.1.22)'ye (2.1.26) denklemini koyarak aşağıdaki denklemi elde ederiz.

$$\dot{a}_n = 1/i \hbar \sum_k H'_{nk} a_k \exp[-i (E_k - E_n) t / \hbar] \quad (2.1.27)$$

2 seviyeli sistemler için, yazabiliriz;

$$\dot{a}_1 = (1/i \hbar) \{ H'_{11} a_1 + H'_{12} a_2 \exp[-i (E_2 - E_1) t / \hbar] \} \quad (2.1.28)$$

$$\dot{a}_2 = (1/i \hbar) \{ H'_{22} a_2 + H'_{21} a_1 \exp[-i (E_1 - E_2) t / \hbar] \}$$

Absorpsiyon işlemi için, $a_1(0)=1$, $a_2(0)=0$ başlangıç koşullarını kullanarak çözüm aramalıyız. Buraya kadar hiçbir yaklaşım yapılmamıştır. Şimdi denklem (2.1.28)'in çözümünü basitleştirmek için, perturbasyon metodunun kullanımını yapacağız. (2.1.28)'in sağ kenarında $a_1(t) \sim 1$ ve $a_2(t) \sim 0$ yaklaşımlarını yaptığımızı kabul edeceğiz. Bu hipotezde (2.1.28)'i çözerek, $a_1(t)$ ve $a_2(t)$ için birinci dereceden çözümleri alacağız. Bu yüzden, aşağıdaki teori birinci dereceden perturbasyon teorisi olarak bilinir. Bu şekilde elde edilen $a_1(t)$ ve $a_2(t)$ çözümleri o zaman ikinci dereceli yaklaşım olacak şekilde çözümü elde etmek için (2.1.28)'in sağ kenarında yerine konulur ve daha yüksek derecelere kadar bu işlem devam eder. Bu, ikinci dereceden perturbasyon teorisi olarak tanımlanır ve böyle sürer. Bu yüzden, İlk dereceyi (2.1.28) denklemi verir.

$$\dot{a}_1 = (1/i\hbar) H'_{11} \quad (2.1.29a)$$

$$\dot{a}_2 = (1/i\hbar) H'_{21} \exp(-i\omega_0 t) \quad (2.1.29b)$$

Burada $\omega_0 = (E_2 - E_1) / \hbar$ atomun geçiş frekansı için yazdık. Geçiş olasılığını hesaplamak için, yalnızca (2.1.29b) denklemini çözmeye ihtiyaç duyarız. (2.1.20)'ye göre biz aşağıdaki denklemi yazabiliriz.

$$H'_{21} = H'_{21}^0 \sin\omega t = H'_{21}^0 [\exp(i\omega t) - \exp(-i\omega t)] / 2i \quad (2.1.30)$$

Burada H'_{21}^0 aşağıdaki ifade ile verilir.

$$H'_{21}^0 = \int u_2^* H' u_1 dV \quad (2.1.30a)$$

ve genel olarak karmaşık bir sabittir. (2.1.30)'u (2.1.29b)'de yerine koyarak ve $a_2(0)=0$ başlangıç koşulu ile integre ederek, aşağıdaki denklemi elde ederiz.

$$a_2(t) = H'_{21}^0 / 2\hbar i [[\exp[i(\omega_0 - \omega)t] - 1]/(\omega_0 - \omega)] - [\exp[i(\omega_0 + \omega)t] - 1]/(\omega_0 + \omega)] \quad (2.1.31)$$

Eğer şimdi $\omega_0 \sim \omega$ olarak kabul edersek, köşeli parantez içindeki ilk terimin ikinciden çok daha büyük olduğunu görürüz. Aşağıdaki denklemleri yazabiliriz.

$$a_2(t) = -H'_{21}^0 / 2i [\exp(i\Delta\omega t) - 1] / \hbar\Delta\omega \quad (2.1.32)$$

$$|a_2(t)|^2 = |H'_{21}^0|^2 / \hbar^2 [[\sin(\Delta\omega t/2)] / \Delta\omega]^2 \quad (2.1.33)$$

$$[[\sin(\Delta\omega t/2)] / \Delta\omega]^2 \sim \pi t \delta(\Delta\omega) / 2 \quad (2.1.34)$$

$$|a_2(t)|^2 = |H'_{21}^0|^2 / \hbar^2 [\pi t \delta(\Delta\omega) / 2] \quad (2.1.35)$$

Burada δ dirac fonksiyonudur. W_{12} 'lik geçiş olasılığı aşağıdaki denklem ile verilir.

$$W_{12} = |a_2(t)|^2 / t = \pi \delta(\Delta\omega) |H'_{21}^0|^2 / 2\hbar^2 \quad (2.1.36)$$

W_{12} tamamen hesaplamak için, $|H'_{21}^0|^2$ büyüklüğünü hesaplamalıyız. Bunu sonlandırmak için, eğer atomun elektrik dipol momenti ve elektromagnetik dalganın elektrik alanı arasındaki etkileşimlerin geçişlerden sorumlu olduğunu kabul edersek

$H' = e E(r,t) \cdot r$ eşiliğini yazabiliriz; e geçişe maruz bırakılan elektronun yükü, vektör r onun pozisyonunu verir ve $E(r,t)$ r noktasındaki elektrik alanıdır. Daha da basitleştirmek için çekirdek ile örtüşmede referans sistemimizin orijini $r=0$ kabul ederiz.

$$E(0,t) = E_0 \sin \omega t \text{ alabiliriz; } H'_{21} = E_0 \cdot \mu_{21}$$

$$|H'_{21}|^2 = 1/3 E_0^2 |\mu_{21}|^2 \quad (2.1.37)$$

burada kompleks sayının şiddeti olan $|\mu_{21}|$, elektrik dipol momentidir.

$$W_{12} = \pi \delta(\Delta\omega) \rho |\mu_{21}|^2 / 3n^2 \epsilon_0 \hbar^2 \quad (2.1.38)$$

Çarpışmadan sonra, atomun dalga fonksiyonları $u_1(r)$ ve $u_2(r)$ artık gelen elektromagnetik dalganınki ile aynı faz ilişkisine sahip olmayacaktır. Bu yüzden önceki denklemde tanımlandığı gibi etkileşim yalnızca bir çarpışma ve bir sonraki arasındaki zaman aralığında mevcut olacaktır. Her bir çarpışmadan sonra, başlangıç koşullarına bağlı ve özel olarak atomun dalga fonksiyonu ve gelen dalganın elektrik alanı arasında mevcut faz ilişkisi rasgele bir atlamaya maruz kalır. Bu probleme eşdeğer bir davranış, her bir çarpışmada elektrik alanın fazının bir atlamaya maruz bırakılmış olduğunu kabul etmektir. Bu yüzden, çarpışma zamanında elektrik alan, herbir faz atlamasının olduğu yerde artık, sinüzoidal olmayacak, fakat belirecektir. Bu koşullar altında, atomun artık monokromatik dalga olarak görüldüğü açıktır. Bu durumda eğer ω' ve $\omega' + d\omega'$ arasındaki frekans aralığında dalganın enerji yoğunluğunu $d\rho = \rho_{\omega'} d\omega'$ yazarsak;

$$W_{12} = \pi \delta(\Delta\omega) \rho |\mu_{21}|^2 / 3n^2 \epsilon_0 \hbar^2 \int_{-\infty}^{+\infty} \rho_{\omega'} \delta(\omega' - \omega_0) d\omega' \quad (2.1.39)$$

$$\rho_{\omega'} = \rho g(\omega' - \omega); \int_{-\infty}^{+\infty} g(\omega' - \omega) d\omega' = 1 \text{ alabiliriz.}$$

$$W_{12} = \pi \rho g(\Delta\omega) |\mu_{21}|^2 / 3n^2 \epsilon_0 \hbar^2 \quad (2.1.40)$$

Absorpsiyon oranını hesaplayarak, şimdi, uyarılmış yayılım oranını hesaplamaya devam edelim. Bunu yapmak için, başlangıç koşulları $a_1(0)=0$ ve $a_2(0)=1$ kullanarak, (2.1.28)'den tekrar başlamalıyız. Fakat, bu denklemlerin, benzer şekilde absorpsiyon durumu için olan denklemlerdeki 1 ve 2 indekslerinin değiştirilmesiyle kolaylıkla elde edilebilecek olduğunu hemen görürüz.

$$W_{12} = W_{21} = W \quad (2.1.41)$$

$$\mu_{21} = \mu_{12} = \mu \quad (2.1.42)$$

$$W = \pi \rho g(\Delta\omega) |\mu|^2 / 3n^2 \epsilon_0 \hbar^2 \quad (2.1.43)$$

Geçiş oranı W 'yı hesapladık, şimdi tanımlamalara devam edebiliriz ve verilen geçiş tanımlamak için sık sık kullanılan diğer parametreleri hesaplayabiliriz. Gördüğümüz

gibi, uniform düzlem bir dalga için geçiş oranı yoğunlukla orantılıdır ve bu yüzden σ ara kesit tanımlayabiliriz.

$$\sigma = W/F \quad (2.1.44)$$

burada $F = I / \hbar\omega$ gelen elektromagnetik dalganın foton akısıdır. Sonra biz σ ifadesini aşağıdaki denklemle hesaplayabiliriz.

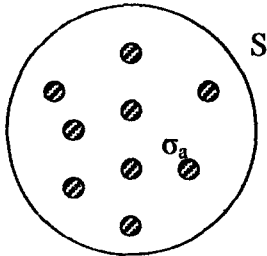
$$\sigma = \pi \omega g(\Delta\omega) |\mu|^2 / 3n\epsilon_0 c_0 \hbar \quad (2.1.45)$$

(2.1.45)'de σ malzeme parametreleri ($|\mu|^2$ and g 'ye) ve gelen dalganın ω frekansına bağlıdır. Bu yüzden ω 'nın fonksiyonu olan σ bilgisine ve diğerlerinin hepsine etkileşim işlemi tanımlamak için ihtiyaç duyulur. Geçiş yatay kesiti σ çok önemlidir. Geçiş için geniş bir şekilde parametreler kullanılmıştır. Basitlik için, bütün atomların taban seviyesinde olduğunu kabul ederiz, $N_2=0$ ve $N_1= N_t$, N_t sembolü sistemin toplam atom sayısını sembolize eder.

$$dF = - \sigma N_t F dz \quad (2.1.46)$$

alabiliriz. Etkin bir absorpsiyon ara kesiti σ_a , herbir atom için ortak olabildiğini kabul edelim. Eğer foton bu ara kesite girerse, atom tarafından absorbe edilecek (Şekil 2.1.1). Malzemede elektromagnetik dalganın yatay kesitsel alanını S olarak adlandırılırsa, dalga tarafından ışınlandırılan malzemenin dz elemanında atomların miktarı $N_t S dz$ 'dir. Böylece $\sigma_a N_t dz$ 'in bir toplam yatay kesit absorpsiyonu verir. Bu yüzden malzemenin dz elemanında foton akısının kesirsel değişikliği (dF/F) 'nin denklemi aşağıda verilmiştir.

$$dF/F = - \sigma_a N_t S dz / S \quad (2.1.47)$$



Şekil 2.1.1: S ara kesite sahip bir hüzmeye atomların etkin absorpsiyon ara kesiti.[35]

(2.1.46) ile (2.1.47)'nin karşılaştırılması $\sigma_a = \sigma$ olduğunu gösterir, bu yüzden, yukarıda tanımlandığı gibi etkin bir absorpsiyon ara kesitini σ ile gösterebiliriz. Malzeme ile ışının etkileşiminin tanımlanmasının diğer bir yolu da bir α katsayısı tanımlayarak elde edilir.

$$\alpha = \sigma (N_1 - N_2)$$

(2.1.48)

Eğer $N_1 > N_2$ ise, α büyüklüğü malzemenin absorpsiyon katsayısı olarak kabul edilir. (2.1.45) kullanılarak, α için aşağıdaki ifade elde edilir:

$$\alpha = \pi \omega g(\Delta\omega) (N_1 - N_2) |\mu|^2 / 3n\epsilon_0 c_0 \hbar$$

α iki seviyeli atom sayısına bağlı olduğu için, örneğin laserdaki gibi atom sayısı seviyelerinin değişimlerdeki etkileşimi tanımlamak için en uygun parametre değildir. Onun faydası, gerçekte absorpsiyon katsayısı α 'nın sık sık ölçülebilir olmasıdır. Bu yüzden, malzemenin 1 seviyesinin uzunluğundaki transversingden sonra foton akısı ve gelen akı arasındaki oran $F(l)/F(0) = \exp(-\alpha l)$ 'dir. Yeterli monokromatik bir ışınım ile bu oranı deneysel yolla ölçerek, özel gelen dalga boyu için α 'nın değerini elde edebiliriz. Ara kesit geçişine karşılık o zaman (2.1.48) elde edilir. Birkez N_1 ve N_2 bilinir. Eğer atom termodinamik dengede ise, N_1 ve N_2 elde edilebilir.

Absorpsiyon katsayısı α 'yı ölçmek için kullanılan alet bir absorpsiyon spektrometresi olarak bilinir. Bununla birlikte absorpsiyon ölçümünün 1 seviyesinin boş olması durumunda yerine getirilemediğine dikkat edelim. Bu durum, örneğin, 1 seviyesinin taban seviyesinde olmadığı ve taban seviyesinin yukarıdaki enerji kT 'den çok daha büyük olduğu zaman oluşur. Eğer $N_2 > N_1$ olduğuna dikkat edersek, (2.1.48) ile tanımlanan absorpsiyon katsayısı α negatif olur ve elbette, dalga malzemede absorp edilenden daha fazla yükseltilmiş olur. Bu durumda yeni büyüklük tanımlamak gerekir.

$$g = -\alpha = \sigma (N_1 - N_2)$$

(2.1.49)

pozitifdir ve kazanç katsayısı olarak adlandırılır.

Buraya kadar ayrılmış atomların yayınımlı düşünölmüştür. Gerçek durumda herhangi bir atom diğer atomlar tarafından çevrili olacaktır. Bazı atomlar taban seviyesinde ve bazıları da uyarılmış seviyede olacaktır. Bu durumda yeni fenomenya belki oluşturulabilir. Eğer başlangıç olarak en yukarki seviyede olan atomların kesiri çok küçükse, ışınım hapsedmesi olarak bilinen fenomen belki önemli bir rol oynar. Bir atom tarafından kendiliğinden yayılan bir foton ortamdan kurtulma yerine, sonunda uyarılmış durumda diğer bir atom tarafından absorp edilebilir. Bu yüzden işlem, kendiliğinden yayınımlı etkin oranının kuvvetlendirilmesi eğiliminde olacaktır. Eğer başlangıç olarak en yukarıdaki seviye atomlarının kesri popülasyon

terslemesi oluştursa, yayınım, diğerlerinin yayınımları ile etkilenmiş bir atomun yayınımlarında işbirliği işlemini gerçekleştirebilir. Bu, süperışınım fenomeni olarak adlandırılır. Burada, bu fenomenya ile ilgili birkaç özelliği veririz.

- (1) İşbirliği etkisinin oluşumu için farklı bir eşik gözlemlenir.
- (2) Aktif malzeme 1'in uzunluğu tersinirliğin başlangıç değerinin bağlı olduğu I_c karakteristik uzunluğundan daha küçük olmalıdır.
- (3) Yayılan ışığın zaman değerlendirilmesi artık eksponansiyeldir. Çan-şekilli eğrinin oluşumu yerine, onun süresi, başlangıç tersinirliği büyük olduğu için τ_{sp} 'den çok daha küçük olabilir.
- (4) Şimdi yayınan ışınımın tepe(peak) gücü, kendiliğinden normal yayınım işlemi olabildiği için, N' 'den daha fazla tercih edilen N^2 ile değişir.

Doyum

I yoğunluğuna ve $\omega = \omega_0$ frekansına sahip olan elektromagnetik dalga, genellikle iki seviyenin N_1 ve N_2 atom sayılarının eşit olması için bir etki yaratmaya çalışacaktır. Gerçekte, eğer N_1 , başlangıç olarak N_2 'den daha büyükse, (WN_1) absorpsiyon işlemi uyarılmış yayınım işlemi (WN_2) gösterecektir. Örneğin, $1 \rightarrow 2$ geçişine maruz bırakılan atomlardan $2 \rightarrow 1$ geçişine maruz bırakılan atomlar daha fazla ise, iki populasyon I 'nın yeterli yükseklikteki değerleri için eşit olma eğiliminde olacaktır. Bu fenomenya doyum olarak adlandırılır.

Absorpsiyonun Doyumu: Homojen çizgi

İlk olarak absorbing geçişini düşüneceğiz ($N_1 > N_2$) ve homojen olan çizginin sınırlandığını kabul edeceğiz. Gelen dalga ile indüklenen hem uyarılmış hemde kendiliğinden yayınımlarını göz önüne alarak, 2 seviyenin N_1 ve N_2 atom sayıları için aşağıdaki iki denklemi yazabiliriz:

$$N_1 + N_2 = N_t \quad (2.1.50a)$$

$$dN_2/dt = -W(N_2 - N_1) - N_2 / T \quad (2.1.50b)$$

(2.1.50b)'deki denklemde N_t ile verilen malzemenin toplam atom sayısıdır.

$$\text{Eğer } \Delta N = N_1 - N_2 \quad (2.1.51)$$

yazarsak, (2.1.50)'deki iki denklem tek bir diferansiyel denkleme indirgenebilir:

$$\Delta \dot{N} = -\Delta N (1/T + 2W) + 1/T N_t \quad (2.1.52)$$

$\Delta \dot{N}=0$ olduğu zaman, örneğin, kararlı durumda,

$$\Delta N = N_t / (1 + 2W_T) \quad (2.1.53)$$

alırız. ΔN atom sayısı farkı T ve W 'ya dayandırılır. Örneğin, daha yukarıdaki durumda, bozulma zamanı ve gelen ışının I yoğunluğuna dayandırılır. I arttığı zaman, W 'da artar. Atom sayısı farkı ΔN azalacaktır. $W_T \gg 1$ olduğu zaman $\Delta N \sim 0$, örneğin, $N_1 \sim N_2 \sim N_t/2$ 'ye sahipsek, iki seviyenin atom sayıları eşit olma eğilimindedir.

Verilen popülasyon farkı ΔN 'i muhafaza etmek için malzeme aşağıdaki denklem ile verilen malzeme, (dP/dV) birim hacme düşen gücü gelen ışımandan absorp etme ihtiyacını duyar.

$$dP/dV = (\hbar\omega) W \Delta N = (\hbar\omega) N_t W / (1 + 2W_T) \quad (2.1.54)$$

doyumda, örneğin $W_T \gg 1$, olur.

$$(dP/dV)_s = (\hbar\omega) N_t / 2T \quad (2.1.55)$$

Denklem (2.1.55) $(dP/dV)_s$ 'lik doyumda onu tutma için sistem tarafından absorp edilmek zorunda olan güç, daha yukarıdaki seviyenin bozunmasına bağlı olan malzeme tarafından kaybedilen güce eşittir (beklenildiği gibi). Bazen çok daha iyi bilinen oluşum ile (2.1.54) ve (2.1.55)'i tekrar yazmak yararlıdır. Biz bunu aşağıdaki gibi ifade edebiliriz:

$$W = \sigma I / \hbar\omega \quad (2.1.56)$$

burada σ geçişin absorpsiyon ara kesitidir.

$$\Delta N / N_t = I / (1 + (I/I_s)) \quad (2.1.57)$$

$$(dP/dV)/(dP/dV)_s = (I/I_s) / (1 + (I/I_s)) \quad (2.1.58)$$

$$\text{burada } I_s = \hbar\omega / 2\sigma T \quad (2.1.59)$$

verilen malzemeye ve gelen dalganın frekansına dayandırılan parametredir.

Onun fiziksel (2.1.57)'den açıktır. Gerçekte $I = I_s$ için, $\Delta N = N_t / 2$ alırız. $\omega = \omega_0$ olduğu zaman, I_s büyüklüğü yalnızca geçiş parametrelerine dayalı olan bir değere sahiptir. Bu büyüklük doyum yoğunluğu olarak adlandırılır. Doyum yoğunluğu aşağıdaki gibi absorpsiyon katsayısına dayalıdır.

$$\alpha = \alpha_0 / (1 + (I/I_s)) \quad (2.1.60)$$

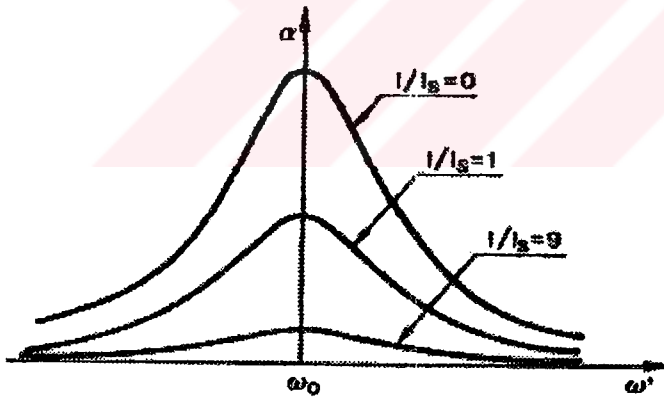
yazabiliriz. Burada $\alpha_0 = g(\omega' - \omega_0)$ absorpsiyon katsayısıdır, ω frekansında doyan dalga yok olduğunda (örneğin, $I=0$) o zaman

$$W = \pi |\mu|^2 \omega' N_t g(\omega' - \omega_0) / 3n c_0 \epsilon_0 \hbar \quad (2.1.61)$$

denklemleri ile verilir. (2.1.60) ve (2.1.61) denklemleri, doyan ışının I yoğunluğu arttırıldığı zaman, absorpsiyon katsayısının zayıflatılabildiğini gösterir. Bununla birlikte, çizgi şekli aynı kalır, çünkü her zaman $g(\omega' - \omega_0)$ fonksiyonu ile tanımlanır. Şekil 2.1.2 I/I_s 'lik üç farklı değerde ω' 'ya karşı absorpsiyon katsayısının çizimini gösterir.

Homojen olmayan sınırlı çizgi

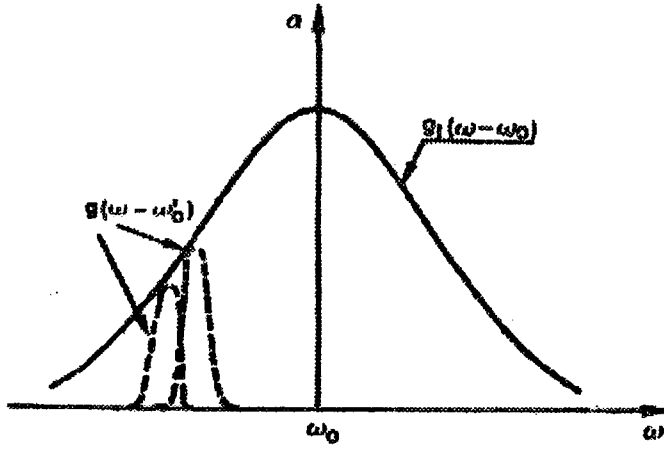
Çizgi homojen olmayan bir şekilde sınırlandırıldığı zaman, doyum fenomeni daha karmaşıktır ve kendi kendimizi bir büyüklük tanımına varma için sınırlandıracağız. Üreticiliğin hatırı için hem homojen hemde homojen olmayan mekanizma ile çizginin sınırlandırıldığını kabul edeceğiz. Tüm çizgi boyunca $g(\omega - \omega_0)$ çeşitli atomların $g(\Delta\omega)$ homojen yardımlarının konvolüsyonu ile verilir. Böylece, absorpsiyon durumunda,



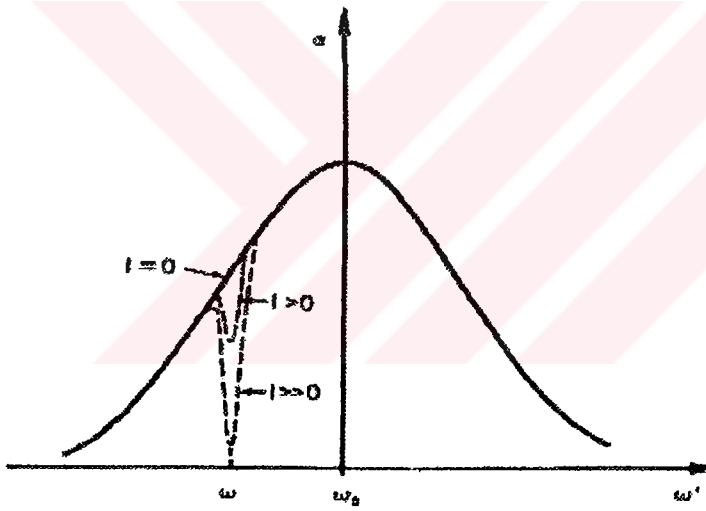
Şekil 2.1.2: Artmakta olan yoğunluk değerleri için ω' frekansına karşı düşen homojen çizgi absorpsiyon katsayısının doyum davranışı.[35]

absorpsiyon katsayısı sonuçları Şekil 2.1.3'de gösterildiği gibi gözönüne getirilebilir. Yoğunluk $I(\omega)$ yalnızca bu atomlarla etkileşecektir. Onların rezonans frekansı ω' 'nın komşuluğundadır ve yalnızca bundan dolayı bu atomlar doymaya maruz bırakılacaktır. $I(\omega)$ yeterince yoğunlukta olduğu zaman, $I(\omega)$ 'nın çeşitli değerleri için

absorpsiyon çizgisinin modifiye edildiği şekil o zaman Şekil 2.1.4'de gösterildiği gibi olacaktır. Bu durumda, $I(\omega)$ arttırılırken, ω frekansında bir delik



Şekil 2.1.3: Homojen olmayan sınırlandırılmış çizginin doyum davranışı.[35]



Şekil 2.1.4: Frekansa karşı düşen absorpsiyon katsayısı artan yoğunluk $I(\omega)$ ile artmakta olan delik derinliğini gösterir.[35]

profili absorpsiyon çizgisinde üretilecektir. Şekil 2.1.3'de kesikli çizgi ile gösterilen absorpsiyon görünümünün herbirinin genişliğidir. Doyma ışınımının etkisi bu durumda, absorpsiyon profilinden daha fazla tercih edilen kazanç profilinde delikler yaratacaktır. Şimdi metodumuzda kalibrasyon için kullanacağımız, Raman saçılımını açıklayacağız.

Raman Saçılımı

Raman saçılımı ilk olarak 1928'de gözlemlendi ve moleküllerin yapıları ile ilgili çalışmalar için güçlü bir metod sağladı. Son zamanlara kadar, yalnızca civa lambaları gibi koherent olmayan kaynaklar mevcuttu fakat lazerların kullanımının artışıyla Raman spektroskopisi tekniğinde büyük bir ilerleme kaydedildi. Çoğu moleküllerde bilinen enerji seviyeleri elektronik geçişlere karşılık bir uyarılmış seviye ve bir taban seviye olarak düşünülebilir. Buna ek olarak, molekülün dönel ve titreşimsel enerjilerinin birleştirilmesiyle oluşturulan çok büyük miktarlarda seviyeler vardır. Bu seviyelerin enerjileri, elektronik enerji seviyeleri ile karşılaştırıldığında herbiri diğerine çok yakındır. Sonuç olarak, böyle moleküllerin absorpsiyon spektrası elektronik geçişlere karşılık morötesi ve rotasyonel (dönel) durumlar veya titreşimsel uyarılara sebep olan uzak kırmızıötesi hatlardan oluşur. Böylece nitrojen, oksijen gibi malzemeler morötesi ve kırmızıötesinin kısımlarında kuvvetli olarak görünür ve absorp bölgesinde şeffaftır. Moleküllerin titreşimsel ve dönel özelliklerinin kazanç bilgisi ve bundan başka onların geniş bölgeli yapıları için bir infrared kaynak ile bir absorpsiyon çalışması normal olarak gerekli olacaktır. Böyle bir teknikde detekte edilen görünür kısımdaki spektrum ile absorpsiyon spektrasının çok kolay olmayan karşılaştırması ile olacaktır. 1928'de C.V Raman, malzemeye ışığı dik açıda göndererek, farklı dalga boylarında saçılan ışığı gözleyebildi.

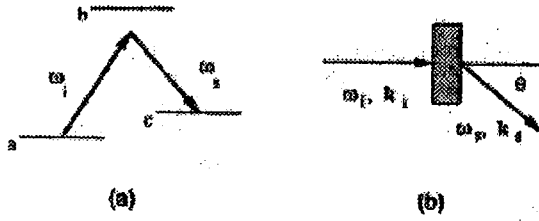
Raman saçılımı fotonlardan oluşan elektromagnetik ışıının esnemez(inelastik) saçılımının en bilinen tipleri ile ifade edilir. Ortama foton girmesi örneğe enerji kaybettirebilir ki bu örnek stokes olarak kabul edilir veya kazanç enerjisi, anti-stokes işlemidir. Raman saçılım uyarılma terimleriyle veya kuantize olmuş elemanların uyarılmaması, yoğunlaştırılmış malzeme veya moleküldeki titreşimler, ilk optiksel fononlar magnonlar(magnetik uyarılmalar) tek veya toplu elektron uyarılmaları gibi ortamların uyarılmasıyla sık sık tanımlanır. Raman saçılımı katı, sıvı ve gazların geniş bir aralığında uyarılma sonucu temel spektroskopik çalışmalarda kullanılmıştır. Malzeme karakterizasyonu belirleme ve situ işlemleri sırasında tanı belirlemelerde de kullanılmıştır.

Raman saçılımı olarak adlandırılan inelastik saçılım fenomenyasının aralığının dışında basınç dalgalanmalarına bağlı olarak yoğunluk değişikliklerinden meydana gelen Brilloun saçılımı olarak adlandırılan bir kabul daha vardır. Bu dalgalanmalar ses dalgaları olarak yayılır veya kuantize olmuş oluşumda akustik fonon yayarlar. Brilloun saçılımının daha sınırlı bir tanımı akustik, fononlar, plazmonlar ve diğer herhangi $< 5\text{cm}^{-1}$ bir çok düşük frekanslı uyarılma gibi lineer saçılım ilişkisi ile herhangi bir uyarılmanın saçılmasını içine alır. Raman saçılımı da Rayleigh saçılımından farklıdır. Öyle ki o entropi dalgalanmaları tarafından sebep olunan ve yayılım olmayan yoğunluk değişiklikleriyle quasi elektrik saçılımıdır. Rayleigh saçılımında, saçılan ışık gelen ışığın frekansı ile aynı frekansa sahiptir, fakat daha sınırlı bir spektral genişliğe sahip olabilir. Raman saçılımı yalnızca gelen foton mevcut olduğu zaman foton saçmada bir iki fotonlu koherent işlemdir. Genel olarak, florür ışınlam ile izlenen absorpsiyon mantığından farklıdır, rezonansa yakın her iki işlem tipi önemli olabilmesine rağmen, moleküllerin ve malzeme çalışmalarında çok yaygın olarak kullanılan kendiliğinden Raman saçılımı, çok zayıftır ve $\sim 10^{-12}$ 'lik gelen foton saçılır ve detekte edilir.

Raman Saçılımının Özellikleri

Kinematikler

Saçılan frekans $\omega_s = \omega_i \pm \omega_x$ Stokes (-) ve anti-Stokes (+) için, burada ω_i ve ω_x gelen ışığın ve uyarılarak kuantize olmuş malzemelerin (Şekil 2.1.5) frekanslarıdır. q momentumlu koruma ile saçılan dalga vektörü $q_x = 2q_i \sin(\theta/2)$ 'dir. $\omega_i \gg \omega_x$ olduğu zaman, θ saçılma açısıdır. Katılarda $\omega_x(q_x) = a_1 q_x$ olduğu zaman, akustik fononlar için, ω_s gözlemlenen saçılma açılarıyla duyarlıdır. Uyarılmalar için, burada $\omega_x(q_x) = \omega_x(0) + a_2 q_x^2$, optiksel fononlar ve plazmonlar için, saçılan ışığın frekansı, güzel bir şekilde sıfır-merkezli saçılmaya yakın θ 'dan bağımsızdır. Yalnızca yakın-sıfır-merkez(T) uyarılmaları, $q_x \sim 0$, uyarılmış seviyenin biriyle gelen fotonun etkileştiği durumdaki katılarda birinci dereceden saçılıma yardım eder. Çünkü foton momentumunda, $\sim 10^5 \text{ cm}^{-1}$ ile $\sim 10^8 \text{ cm}^{-1}$ 'lik değişiklik Brillouin zonunun boyutu ile karşılaştırırsa, çok küçük bir fark olduğu sonucuna varılır.



Şekil 2.1.5: (a) Enerji seviyeleri ve (b) a'dan c'ye kendiliğinden oluşan Raman saçılımının geometrisi.[31]

Saçılımın Dinamikleri

Burada α_e elektrik polarizeedilebilirlik, veya (katılarda) $P_e = \epsilon_0 \chi E$ elektrik polarizasyon, χ elektrik hassaslık olmak üzere ω_i frekanslı bir E elektrik alanının bulunmasında malzemenin cevabı indüklenen dipol moment $\mu = \alpha_e E$ (moleküllerde), ile tanımlanır. Toplam saçılma ara kesiti, $\sigma = [(4\pi/3) \omega_i^4 \alpha_e^2] / (4\pi \epsilon_0)^2 c^4$ dir. Burada titreşim gibi, χ (veya α_e) malzeme uyarılmalarına bağlanabilir. Bu titreşimler ω_x frekansı ile hareket eden karakteristik bir u koordinatının terimleriyle tanımlanır. İlk sırada, χ aşağıdaki gibi ifade edilebilir.

$$\chi(u) = \chi(u=0) + (d\chi/du).u$$

Klasik olarak, Raman saçılımı, P_e (veya μ) polarizasyon hareket etmesi yüzünden oluşur ve bu yüzden $\omega_i \pm \omega_x$ 'de ışıır. Eğer polarizeedilebilirlik titreşimsel mod(u)'nun normal koordinatları ile değişirse, moleküldeki titreşimsel geçişe absorpsiyonda müsaade edilmezken (IR) Raman müsaade eder veya eğer dipol moment normal koordinatlarda değişirse, infrared(aktif) absorpsiyon olayına izin verir. Raman saçılımının makroskopik tanımında, polarizasyonun dalga bileşenleri saçılmaya klavuzluk eder. ω_i frekansından ω_s 'e foton saçılımı için spektral diferansiyel ara kesitleri(Hayes and Loudon,1978).

$$d^2\sigma / d\Omega d\omega_s = U (\omega_i \omega_s^3 / c^4) v V (\eta_s / \eta_i) |e_s \cdot \chi' \cdot e_i|^2 \langle u(q) u^*(q) \rangle_{\omega_s}, \quad (2.1.62)$$

Burada v saçılma hacmidir, V örnek hacimdir, η kırılma indeksidir, $\chi' = d\chi/du$ hassaslık türev tensörüdür, e_s ve e_i sırasıyla saçılan polarizasyon ve gelen ışığın vektörleridir ve $U=1/16\pi^2$ 'dir. En son terim karakteristik koordinatlarda dalga güç spektrumudur. İkinci kuantize edilen operatörler kuantum-mekaniksel terimlerle ifade edilebilir ve fluctuation dissipation teoreminin kullanımı ile değerlendirilebilir. $\omega_s \sim \omega_i$ olduğu için, elastik saçılmanın frekans bağımlılığı basittir. $\sim \omega_i^4$ ile rezonans

aşağısında elastik saçılım uzaklığı bağımlıdır. $(I_i / \hbar \omega_i) d^2 \sigma / d\Omega \cdot d\omega_s$ fotonların saçılma oranıdır. Burada I_i gelen hüzmeyin yoğunluğudur. Saçılma verimliliği Y aynı zamanda $Y = \sigma/V$ gibi belirlenebilir. Katılardaki fononlar için, $\langle uu^* \rangle = (\hbar / 2N\omega_p) [n(\omega_p) + 1] g(\omega_s)$ Stokes saçılımı denklemini geçerlidir. Burada n fonon-oluşum sayısıdır, $1/[\exp(\hbar\omega_p/kT)-1]$ ω_p termal dengedeki fonon frekansıdır, $g(\omega_s)$ normalleştirilmiş çizgi şeklindedir. Bu çizginin genişliği $\sim 1/(\text{fonon ömrü})$, ve N hacimdeki saçıcıların sayısıdır. (2.1.62)'deki $\langle uu^* \rangle$ 'u kullanarak bulunan, V/N tür başına hacmi ifade eden sonuç faktörü yoğun parametredir. Anti-Stokes saçılma için ifade basittir, (2.1.62)'de ω_s , η ve χ 'lerin kullanılan anti-Stokes değerlerine karşı düşenleri ile ve $\langle uu^* \rangle$ için ifadede parantez $n(\omega_p)$ için tekrar yerine konulmasıyla, (2.1.62)'nin son oluşumunu ifade edilir. Aynı zamanda $n+1$ (n) 'lik faktör Stokes (anti-Stokes) saçılımına sahiptir.

Raman saçılımının makroskopik tanımı kuantum-mekaniksel zaman bağımlı perturbasyon teorisini kullanır (Hayes ve Loudon, 1978; Cardona, 1982). Foton etkileşimleri Hamiltonda $(p+eX/c) \cdot (p+eX/c)/2m$ ifadeden ya $(e/mc)X \cdot p$ yada $(e^2/2mc^2)X^2$ terimi ile araya sokulur. Burada p elektron momentum operatörü ve X vektör potansiyelidir. Önceki terim her ne zaman arabant geçişleri önemli olsa, katılardaki magnonlar, fononlar ve moleküllerdeki titreşimler gibi, arabant geçişleri önemli olduğu zaman serbest elektronların vakumda saçılması gibi daha sonraki terimlerin ifade edilmesine yardımcı olur. Yarıiletkenlerde serbest elektronlar saçılıyorken, bazen her iki seviyede katkıda bulunur. Moleküllerde $-\mu \cdot E$ ile aynı olan $-e_r \cdot E$ sık sık $(e/mc)X \cdot p$ 'nin yerine kullanılır, burada r elektron yer operatörüdür.

Eğer $\Gamma_2^* \times \Gamma_\chi \times \Gamma_1$ toplam olarak simetrik temsiller içerirse, Raman geçişlerinde kristal veya molekülün boşluk grubunu temsil eden 1 seviyesinin indirgenemez Γ_1 'i ile 2 durumunu temsil eden Γ_2 'si simetriye müsaade eder. Γ_χ teriminin saçılan ışının detekte edilmesi ve gelenin ikinci-rank polarizasyonunun bileşenleriyle ifade edilmesi sağlanır. Saçılma düzenlenmesi $a(b,c)d$, ile temsil edilir, sırasıyla burada a ve d gelen ve saçılan ışınların yönleridir ve b ve c onların sırasıyla elektrik alan polarizasyonlarıdır. Katılarda, simetri en az orthorhombic olduğu zaman, bunlar kristal eksenleri ile ilişkilendirilebilir. Geri saçılma geometrisinde, $d = \hat{a}$ bir polarize edilen spektrumda $c \parallel b$, bir depolarize edilebilen spektrumda $c \perp b$ 'dir.

Polarize edilmezlik oranı Q , polarize edilen saçılım yoğunlukları ile polarize edilemezliğin oranı olarak tanımlanır ve simetri gösterebilir ve bu yüzden saçılımı indükleyen fiziksel işlemdir. Bu oran saçılma açısı θ 'nın fonksiyonudur ve saçılma düzlemine hem paralel hemde dik gelen polarizasyon için analiz edilebilir. Bu analiz gelen ve saçılan ışığın dalga vektörü ile tanımlanır. Polikristalli malzemelerdeki zerrecikler, çoğu sıvılardaki moleküller, bilinen bantlardaki dönen moleküller ve gazlarda dönel moleküller gibi rastgele bir şekilde yönlendirilmiş tipler için polarizasyon bağımlılığı, açı üzerinde ortalama alınarak yapılmalıdır. Eğer verilen tiplerin polarizeedilebilirliği simetrik ise, o zaman, diyagonal elemanlar a_{xx}, a_{yy}, a_{zz} ile diagonelleştirilebilirler. Bu $a = (a_{xx} + a_{yy} + a_{zz})/3$ 'lük bir izotropik şiddetli iki diyagonal tensörün toplamı ile ifade edilebilir ve diğer işler anizotropi faktörü b 'ye bağlıdır. $a_{xx} = a_{yy} = a_{\perp}$ ve $a_{zz} = a_{\parallel}$, $a = (a_{\parallel} + 2a_{\perp})/3$ ve $b = |a_{\parallel} - a_{\perp}|$ olduğu zaman, dönel ortalamadan sonra, gelen ışık için, inelastik ve elastik saçılma mevcut olan en üst seviyedeki sınırı veren $Q(\theta=90^\circ) = 3b^2/(45a^2 + 4b^2) \leq 3/4$ ifadesiyle saçılma düzlemi ile normal lineer olarak polarize edilebilir ve saçılan düzlemde polarize edilen ışık için birdir. Eğer gelen ışık polarize edilemezse, bu durumda $Q(\theta=90^\circ) = 6b^2/(45a^2 + 7b^2) \leq 6/7$ denklem böyle ifade edilir. Bunların en üst sınırları antisimetrik α_e için uygulanmaz. Magnetik saçılmada iken farklı gelişler için yönlendirilmiş tiplerden polarize edilmeme oranları ve saçılan polarizasyonlar (Hirschfeld, 1973; Long, 1977)'de sıralanmıştır.

(2.1.62)'de $|e_s \cdot \chi \cdot e_i|^2$ terimi yük yoğunluklarındaki değişikliklerle ve titreşimsel saçılma için Raman saçılımında açısal örnekler polarizasyon terimini tanımlar. Gelen ve saçılan polarizasyon değişikliklerine göre simetriktr. Raman saçılımında magnetik malzemelerde ve spin etkilerini veya magnetik alanları birleştiren elektronik ve Raman saçılımında polarizasyon terimi $|(e_i \times e_s) \cdot e_i|^2$ 'dir, burada e_i magnetik alanındaki gibi referans yönüdür. Raman saçılımı o zaman gelen ve saçılan polarizasyon değişikliklerine göre asimmetriktir.

Gazlarda ve Sıvılarda Raman Saçılımı

Gazlarda ve sıvılarda kendiliğinden Raman saçılımı Şekil 2.1.5'deki a seviyesinden c seviyesine olduğu gibi iki-adımlı koherent bir işlemdir. Gazlarda ve sıvılardaki titreşimsel Raman saçılımında, iki seviye aynı elektronik seviyelere sahip

olabilirken titreşimsel seviyeler farklıdır. Gazlarda, dönel-titreşimsel Raman saçılımının takip edilmesiyle, a ve c'nin dönel kuantum sayıları aynı zamanda farklıdır veya bu durum saf rotasyonel Raman saçılımı olarak adlandırılan olay ile aynı titreşimsel seviyelerde fakat farklı dönel seviyelerde olabilir. Titreşimsel ve dönel saçılmada, ara seviye b uyarılmış bir elektronik seviyedir. a ve c durumlarındaki atomlar farklı elektronik seviyelerde olabilir. Böyle elektronik Raman saçılımı oldukça nadiren araştırılır.

Kuantum mekaniksel olarak, elektrik polarizedilebilirlik ile, bir moleküldeki a ile c dönel-titreşimsel seviyelerden saçılım tanımlaması;

$$a_{ij} = e^2/\hbar \sum [(\langle c|r_j|b \rangle \langle b|r_i|a \rangle / \omega_{ab}-\omega_i-i\Gamma_b) + (\langle b|r_j|a \rangle \langle c|r_i|b \rangle / \omega_{bc}-\omega_i-i\Gamma_b)] \quad (2.1.63)$$

dir. Burada r_i elektron yer operatörünün kartezyen bileşenidir. b seviyesinin genişliğini tanımlayan Γ_b bir söndürme terimidir. ω_{ab} a-b geçişinin frekansdır (Rousseau et al., 1979). Herbir dalga fonksiyonunun ifade edilmesine müsaade eden Born-Oppenheimer yaklaşımı, a seviyesi için üç terime ayrılır; orta nükleer koordinat R'nin fonksiyonu olan titreşimsel terim $a_v(R)$, dönel terim $a_r(R)$, ve R parametresi ve r koordinatının fonksiyonu olan elektronik terim $a_e(r,R)$ 'dir.

Moleküler yönlendirme üzerinde matris elemanlarında dönel dalga fonksiyonları terimlerinin integre edilmesi, dönel kuantum sayısı için dipol seçimini verir. Elektronik koordinat üzerindeki elektronik terimlerini integre etme bir R bağımlı elektronik dipol momenti M verir. M denge konfigürasyonu (R_0) civarında $R = R_0 + u$ için, $M(R) = M(R_0) + [\partial M / \partial R]_{R_0} u + \dots$ Açılabilir. (2.1.63)'deki rezonans olmayan durumda ikinci terimin ihmal edilmesi o zaman aşağıdaki denklemi verir.

$$a_{ij} = |M(R_0)|^2 / \hbar \sum_b [(\langle c_v|b_v \rangle \langle b_v|a_v \rangle / \omega_{ab}-\omega_i-i\Gamma_b) + M(R_0) \partial M / \partial R|_{R_0} / \hbar \times \{ \sum_b [(\langle c_v|R|b_v \rangle \langle b_v|a_v \rangle + \langle c_v|b_v \rangle \langle b_v|R|a_v \rangle) / \omega_{ab}-\omega_i-i\Gamma_b] \} + \dots \quad (2.1.64)$$

Burada aynı kalan integrasyon titreşimsel koordinatlar üzerindedir. Bu denklemdeki ilk terim Albrecht A terimi olarak bilinen Franck-Condon faktörleriyle birbirini örten titreşimleri de içerir. Saçılıma onun yardımı "Franck-Condon saçılımı" olarak bilinir. Rezonanstan çok uzak ($|\omega_{ab}-\omega_i| \gg 0$), Rayleigh ve saf dönel Raman saçılımı örneğindeki, titreşimsel durumda değişiklik olmamasına sayıcı toplamları $\langle c_v|a_v \rangle$ klavuzluk eder. İkinci terim Albrecht B terimine karşı düşer ve "Herzberg-Teller saçılımına" klavuzluk eder. Rezonanstan uzak, sayma cihazı toplamları $\langle c_v|R|a_v \rangle$ 'dir, bu demektir ki, v titreşimsel kuantum sayısı ± 1 ile değişir. Aşırı tonlama saçılımı (

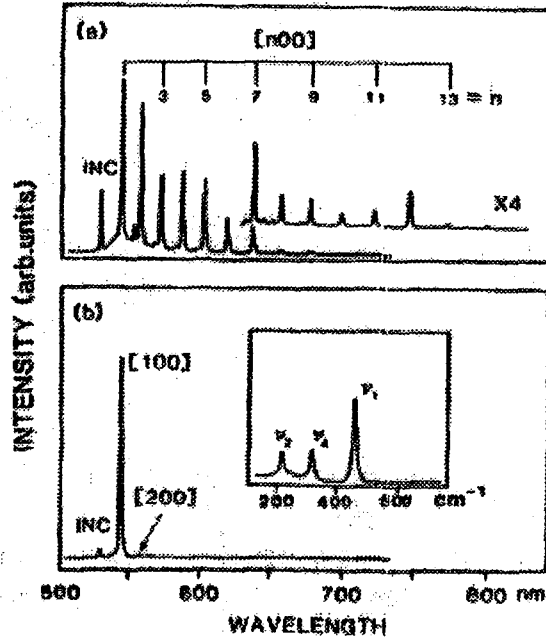
$|\Delta\nu| > 1$) zayıftır. Rezonansa yakın terim, titreşimsel Raman saçılımını temsil eder ve hem temel hemde aşırıtonlamalar kuvvetli olabilir (Rousseau et al., 1979).

Raman saçılımında, daha genel olarak, titreşimsel ve dönel etkilerin ayırımı sabit-uzay(laboratuvar) çatısında elektrik polarizeedilebilirlik test edilerek görülebilir, burada olay titreşimsel ve dönel koordinatlara dayandırılır. Molekül-sabitli-çatıya dönüştürüldükten sonra, yalnızca titreşimsel koordinatlara dayandırılır. $2a_{zz}-a_{xx}-a_{yy}$ ile verildiği gibi klasik olarak, saf dönel Raman saçılımı durağan durumda(veya dengede) anizotrop polarizeedilebilirlik tensörüdür. Bu, dönel seviyeler arasındaki müsaade edilen kırmızıötesi geçişler için birleşmenin olmadığı geçici elektrik dipol momentinin gereksinimine benzerdir. Titreşimsel Raman saçılımı oluşabilir. Eğer $\partial\alpha_{ij}/\partial u$ normal koordinatlara göre polarizeedilebilirlik tensörünün türevlerinin en az biri, denge pozisyonunda değerlendirme olduğu zaman, birleşmezse, dinamik titreşimle indüklenen polarizeedilebilirlik, sıfır değildir. Kırmızıötesi titreşimsel geçişlere müsaade edilir, dipol momentinin enaz birisinde türev alınması denge pozisyonunda oluşmaz. Katılarda fotonlar ile simetri argümanları verilen bir titreşimsel modda Raman saçılımına müsaade edildiğini gösterir. Eğer bir α_{ij} varsa ki, bu α_{ij} simetri tipleri altında aynı şekle sahiptir, örnek olarak, seçtiğimiz modda iken, simetri işlemleri altında aynı şekli korur (Long, 1977). Titreşimler, bir simetri merkezi ile moleküllerde hem Raman hemde IR'de oluşamaz. N_2 gibi homonükleer diatomik moleküllerde titreşimsel mod Ramanda aktif ve IR'de inaktiftir. $CO_2(O-C-O)$, benzer lineer simetrik üç atomlu moleküllerde, simetrik gerilmede Raman aktiftir ve asimetrik gerilmede IR inaktiftir ve iki dejenere olan bükülme modları Ramanda ve IR'de inaktif iken bir merkezsiz simetri olan moleküllerde modlar, hem Raman hemde IR'de aktif olabilir. HF'ye benzer Heteronükleer diatomik molekülde titreşimsel mod hem Ramanda hemde IR'de aktiftir. H_2O 'ya benzer lineer olmayan üç atomlu moleküllerde üç mod varolabilir. Moleküler simetri düşük olduğu zaman, çoğu veya bütün modlar hem Raman hemde IR'de aktif olabilir. Raman ve IR modların gerilim ilişkileri farklı modlar için çok farklı olmasına rağmen, ν kuantum sayısı ile ω_0 frekansı ile verilen bir moddan titreşimsel Raman saçılımında, Stokes spektrum $\Delta\nu = 1$ 'e karşı düşer. Şekil 2.1.6'da iç düzenlemede CCl_4 sıvısında birkaç farklı mod için görüldüğü gibi, anti-Stokes spektrum $\Delta\nu = -1$ 'e karşı düşer. $\nu = 0 \rightarrow 1$ Stokes geçişleri gözlenir, fakat daha yüksek ν 'de daha yüksek sıcaklıkta da Stokes saçılımı oluşabilir. Bu saçılım $(\nu+1) \times$

$\exp(-\nu h \omega_v / kT)$ ile daha zayıftır ve anharmoniklik yüzünden net olarak daha küçük kaymalara sahiptir. Titreşimsel Raman ara-kesitleri çoğu gazlar ve sıvılar için (Schrotter and Klockner, 1979)'da derlendi. Tipik olarak, molekül başına düşen titreşimsel Raman ara-kesiti elektrik alanının etkisinin dahil edilmesi yüzünden gazlarda olan sıvıdakinden 4 kez daha büyüktür. Kendiliğinden ve uyarılmış titreşimsel Raman saçılımı çoğunlukla yoğun sıvılarda, Şekil 2.1.5'deki gibi test edilir. Daha yüksek dereceli Stokes SRS peakleride sık sık görülür. Şekil 2.1.6'da gösterilen morfoloji-bağımlı rezonans (MDR)'nin yüzünden (qian and Chang, 1986), SRS için eşikler sıvı zerreciklerinde daha düşüktür. H_2O ve NH_3 gibi simetrik-top moleküllerde, kuantum sayısı ile tanımlanan moleküler eksen üstünde dönel açısal momentum J 'nin projeksiyonunun (izdüşümünün) kuantize olmasıyla sonuçlanan ek yapılar vardır (Long, 1977). Toplam olarak simetrik titreşimsel tiplerin dönel-titreşimsel saçılması için seçilen kural $\Delta J = 0, \pm 1, \pm 2$ ve $\Delta K = 0$ 'dır; diğer titreşimsel tipler için $\Delta K = \pm 1$, veya ± 2 bazen müsaade edilir. SF_6 gibi küresel-top moleküllerde toplam olarak simetrik titreşimsel tiplerden dönel-titreşimsel tip için seçilen kurallar $\Delta J = 0$ 'dır; titreşimsel tip dejenerasyonu için $\Delta J = 0, \pm 1, \pm 2$ 'ye de müsaade edilir. Herbir durumda, saf dönel saçılım için seçilen kurallar aynıdır, negatif ΔJ olasılıkları dışında tutulanlar hariçtir.

Metodun Prensipleri

Lazer fluorometri metodu, çözücü moleküllerin standartlardaki Raman saçılım sinyali ile çözünen maddenin ışınan sinyalinin kalibrasyonunun prensibine dayalıdır. Raman saçılma sinyalinin normalleştirme işlemi fluorometri ölçümünün temelidir. Son günlerde bu metod yaygın olarak, deniz photoplanktonunun pigmentlerinin konsantrasyonunu belirlemede, su rezervlerindeki yağ kirliliğini kontrol etmede, mikroelektronik için teknolojik akışkanların saflığını kontrol etmede ve şimdide bu metod doğal suda çözünen organik maddelerin monitorlenmesi için kullanılır.



Şekil 2.1.6: Titreşimsel Raman saçılımında (a) CCl_4 zerrecikleri ν_1 modu için birkaç yüksek dereceli Stokes çizgisi gösterir (b) sıvı CCl_4 ilk sırada kuvvetli bir peak ikinci sırada zayıf bir peak verir.[31]

Standartlardaki $\nu=3440 \text{ cm}^{-1}$ 'lik Raman su spektrum bandı kullanıldı. Band sınırlandırılmış su moleküllerinin iki çeşit titreşimine bağlı olan iki peak'in süperpozisyonudur. Su molekülünün tüm bağlarının dahil edildiği birinci peak RS bandının düşük frekans bileşenini belirler. Onun şekli ve pozisyonu suda çözünen iyonlara bağlı değildir. İkinci peak daha az sınırlandırılır. Su molekülü RS bandını frekans eksenini boyunca kaydırabilen iyonlarla bağ oluşturabilir.

Standartlardaki bu metotta η_{PL} kirlilik konsantrasyonu aşağıdaki ifade ile belirlenebilir.

$$\eta_{\text{PL}} = \Phi_o \cdot \xi \cdot \sigma_{\text{RS}} \cdot \eta_{\text{RS}} / \sigma_{\text{PL}} \quad (2.1.65)$$

Burada;

$$\Phi_o = N_{\text{PL}} \cdot I / N_{\text{RS}},$$

N_{PL} , N_{RS} – sırasıyla kirlilik ışınımının ve Raman saçılımının dedekte edilen fotonlarının sayısıdır.

Φ_o , Sinyal spektrum bandının sınır çizgileri altında kalan alanların geometrik olarak bölünmesiyle bulunabilir.

I ışınının doyma faktörüdür. Onun belirlenme tekniği [14]'de tanımlanır.
(Uyarılma düşük seviyede olduğu zaman $I \approx 1$)

σ_{RS} , σ_{PL} – sırasıyla kirlilik molekülleri ve çözücü moleküller ile Laser ışınının etkileşme işleminin olduğu ara kesit.

η_{RS} – çözücü moleküllerin konsantrasyonu

ξ – Raman saçılımı ve ışınının dalga boylarıyla ilgili olan parametrelerin oranını içine alan Gauge faktörü[15].

Fotoluminans (PL) ve Raman saçılım sinyalleri; $10^{-3} - 10^{-6} \mu\text{g/l}$ 'lik [6] kirlilik konsantrasyonlarında karşılaştırılabilecektir. RS'den sorumlu H_2O moleküllerinin titreşme durumları 10^{-3} sn'lik bir gevşeme (esneklik) zamanına sahiptir. Bu yüzden RS sinyali geniş bir aralıkta uyarılmış ışının yoğunluğuna lineer bağlıdır. (2.1.65) ifadesine göre kirlilik konsantrasyonunu eksiksiz belirlemek için σ_{PL} değerini bilmek zorundayız. ÇOM'un moleküler komplekslerinde yer alan kirlilik organik molekülleri ve fotoliz işleminin parametreleri, laser uyarılması altında iken σ_{PL} tanımlandığı zaman yalnızca belirlenebilir. Bu karmaşık bir problemdir ve pratikte (2.1.65)'in yerine bir empirik(tecrübelerden elde edilmiş) formülü kullanabiliriz.

$$C = \alpha \cdot \Phi_o \cdot \xi \quad (2.1.66)$$

Burada; α katsayısı, photoplanktonların olma durumunda[16], basit olarak kalibre edilen ÇOM çözeltileri için ölçülen spektrogramlardan belirlenebilir.

Bazı durumlarda, Φ_o parametresinin yerine; Φ_o^A parametresini kullanmak yaygındır.

Φ_o^A spektral banda ilişkin olan yoğunluğun en yoğun olduğu durumdaki yoğunluğa oranına eşittir.

$$\Phi_o^A = I_{PL} / I_{RS} \quad (2.1.67)$$

Buradaki Φ_o ve Φ_o^A parametreleri yaklaşık olarak yarım band genişliği oranı olan $\approx \Delta\lambda_{PL} / \Delta\lambda_{RS}$ 'lik bir orana eşit olan, sabit bir faktör ile ilişkilidir.

Işınır moleküllerin konsantrasyonunu eksiksiz belirleme zor işlemdir. Fluorometrenin eksiksiz kalibrasyonunu yapmayı ve ölçme işlemi sırasında titiz bir kontrolü gerektirir.

2.2 MATERYAL

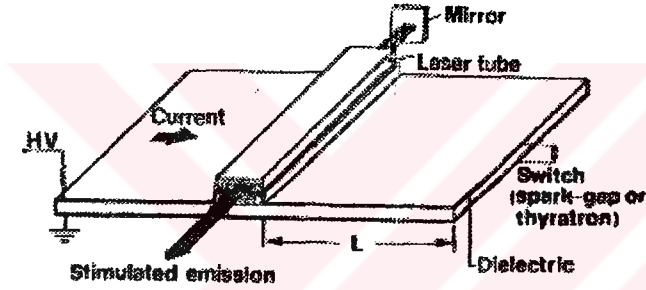
Kullanılan malzemeler:

- (1) Darbe N2 Lazeri
- (2) Şeffaf plaka
- (3) Aynalar
- (4) Lensler
- (5) Çığ fotodiyot
- (6) Fotoçoğullayıcı
- (7) Monokromatör
- (8) Optiksel filtre
- (9) Akım amfisi
- (10) Quartz kap
- (11) Boxcar Integrator
- (12) Bilgisayar arabirim cihazı
- (13) Bilgisayar

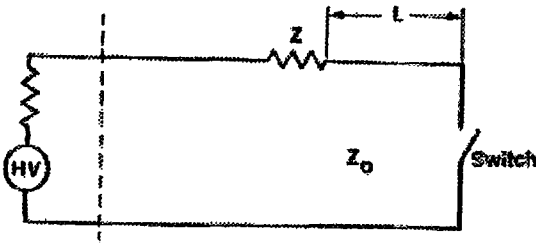
Darbe N₂ Lazer (Nitrojen Lazerlar)

Nitrojen Lazer, moleküler nitrojenin elektronik-titreşim yardımıyla oluşturduğu geçiş sırasında 337-nm'lik bir ışıma üretir. Excimer lazerin temel yapısına benzer, nitrojen lazer (0.002-1+atmosphere)'lik basınca sahip bir odada, oldukça yüksek kazanç sağlayan darbeli bir elektrik boşaltımı sağlar ve yüksek güç peaklerine sahip kısa lazer darbeleri üretir. Bu uyarılmış mekanizma verimlidir. Darbeli nitrojen lazer yaygın olarak dye lazerları için bir pompa olarak kullanılır. Bir N₂ lazer için

mümkün konfigürasyon Şekil 2.2.1a'da şematik olarak gösterilir. Bir lazer konfigürasyonu, ihtiyaç duyulan yüksek değerli elektrik alana bağlıdır ($\sim 10\text{kV/cm}$ p ≈ 30 Torr tipik işlemsel basınçta). Hızlı deşarj darbesi (birkaç nanosaniyelik) gereklidir ve bunun başarıldığı bir deşarj devresi Şekil 2.2.1'de gösterilen Blumlein konfigürasyonu olarak adlandırılan devredir. Bu devrenin iletim-hat analogisi Fig.2.2.1b'de gösterilir, burada Z deşarj kanalının empedansıdır ve Z_0 hattın karakteristik empedansıdır. Eğer, hat başlangıç olarak V voltajı ile yüklenirse ve $Z=2Z_0$ ise, $2L/c$ süresi içinde Z boyunca $V/2$ değerinde bir voltaj darbesi üretilir ve anahtarı kapayarak görülebilir. L yeterince kısa yapılarak, Şekil Şekil 2.2.1a'daki sistem ile N_2 lazerini sürmek için uygun bir kısa lazer darbesi üretilebilir.



Şekil 2.2.1(a): Bir iletim hattı kullanan Blumlein darbe üretici deşarj yönü boyunca deşarj kanalı, 2×0.5 cm boyutlarında olabilir.[36]



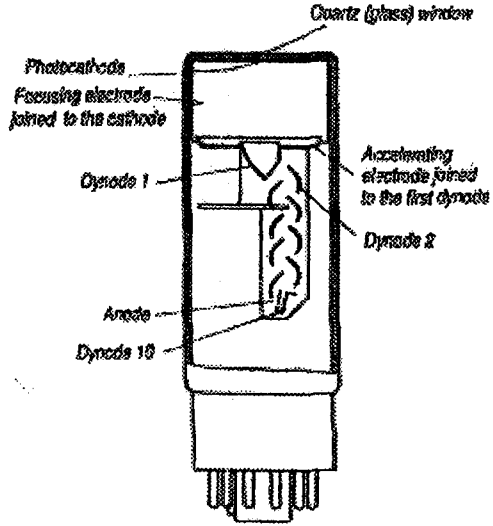
Şekil 2.2.1(b): Yukardaki Blumlein üreticinin iletim hat analogisi[36]

Nitrojen lazerin güç sınırlamaları, 10- μ s'n'lik ömre sahip olan daha düşük lasingleme seviyelerine bakılarak bulunur. Bu düşük lazer verimliliği (<0.15%) lazer olma hareketini ve populasyon inversiyonu çok hızlı bir şekilde bastırır. Tipik darbe enerjileri 10 mJ'dur ve darbe uzunluğu yalnızca birkaç nanosaniyedir.

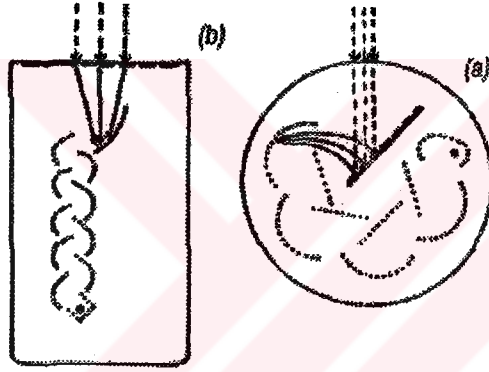
Fotomultiplier

Yaygın olarak uygulanan UV-VIS spektroskopisinde detektör olarak kullanılır. FM, ikinci bir elektron yayılımı ile arttırılan foton akımının boşaltıldığı bir fotocell'dir. İkinci bir elektron oluşturabilen özel yayımlı katodlar(dynodes) herbir elektron için ikinci bir elektron üretir. İkinci elektronların sayısının oranı s , δ yayılım katsayısına ve p sayıdaki elektronun ivmelendirildiği voltaja bağlıdır. 200 eV'ta, yayılım katsayısı, dynodun ana oluşumuna bağlı olarak, 3 ve 8 değerleri arasında değişebilir. Fotomultiplier'in yapısı Şekil 2.2.2'de gösterilmiştir. 12 dynodu, ona göre daha pozitif potansiyelde olan bir fotokatod izler. Seri olan en son birim anottur. Yükseltelen foton akımı n adım için $i = i_0 \cdot \delta^n$ ile verilir, burada i_0 fotokatodu terkeden esas foton akımıdır ve δ yukarıda tanımlandığı gibi yayılım katsayısıdır. Eğer $n=10$ ve $\delta=4$ ise, $i \cong i_0 \cdot 10^6$ 'dır. Bu akımı oluşturmak için FM'in, 2000-3000 V'luk bir DC voltaj ile işlem yapması gereklidir ve bu işlem, 200-250eV'luk özel ortamda gerçekleştirilmelidir. FM'in head-on ve side-on tipleri vardır. Side-on tipinin önemi şeffaf olmayan bir fotokatoda sahip olmasıdır. Bu fotokatod bir daire ile onun etrafında düzenlenmiş dynodlardan oluşur. Head-on olan tiplerde yarı saydam bir fotokatod bulunmaktadır. FM'in iki tipi arasındaki fark Şekil 2.2.3'de şematik olarak gösterilir.

FM'in bu iki tipi, bazen yansıma modlu ve iletim modlu Fotomultiplier olarak adlandırılır. Fotokatodları oluşturan materyaller 180 ile 900nm arasındaki spektral bölgeye karşı düşen malzemelerdir. Bir FM'nin hangi malzemeden yapıldığını kestirmek zordur. Bundan dolayı fotokatod yapısı düşünüldüğünde herbir dalgaboyu bölgesine uygun birçok FM mevcuttur. As, Sb, Ga ve Te alkali metalleri, fotokatod



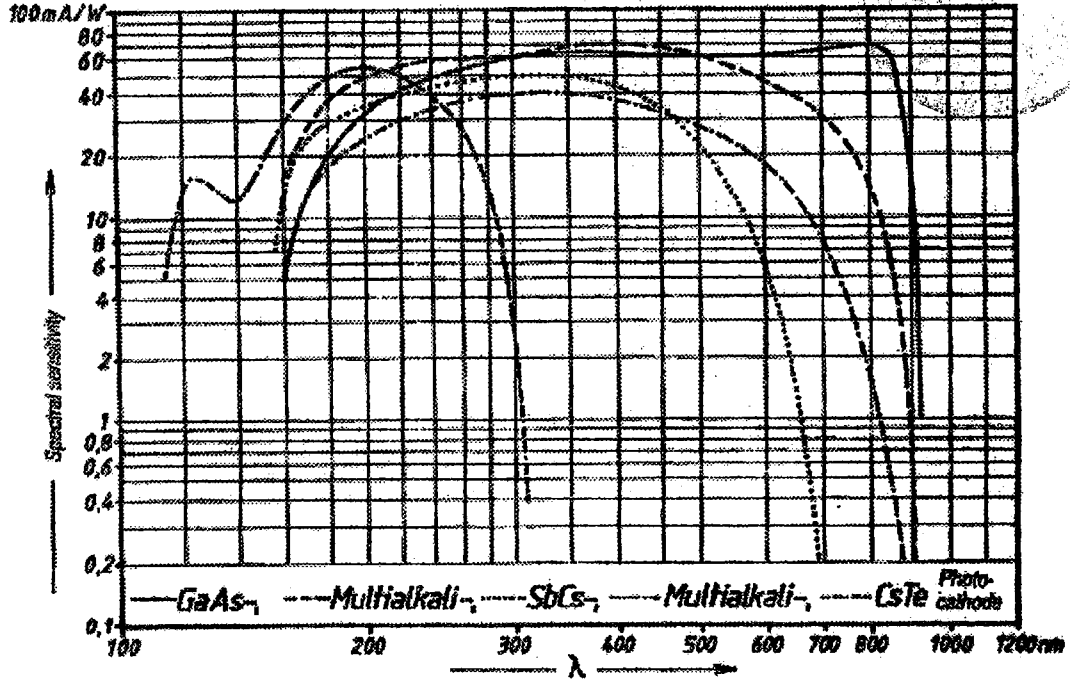
Şekil 2.2.2: Fotomultiplier'in yapısı.[37]



Şekil 2.2.3: Bir side-on (a) ve bir head-on (b) fotomultiplier'in karşılaştırılması

[37]

malzemeleri olarak ya yalnız ya da asbalkali kombinasyonu halinde veya çoklu alkaliler şeklinde kullanılırlar. Çoklu alkalilere örnek olarak , Sb-Cs, Ga-As ve Cs-Te'yu verebiliriz. Şekil 2.2.4'de FM'ları adlandırmak için mA/W biriminde birkaç spektral eğri gösterilmiştir. Fotomultiplierlar yalnızca optiksel spektroskopide kullanılmaz. Onların aynı zamanda diğer tekniklerle ilgili uygulamaları vardır. Örneğin X-ışını ve γ -ışın spektroskopisinde olduğu gibi.

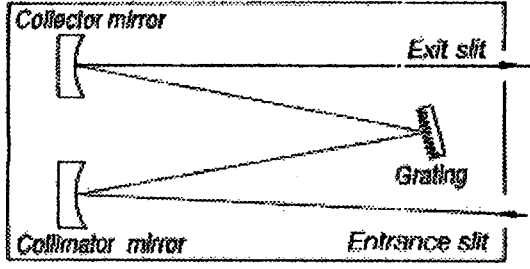


Şekil 2.2.4: Farklı fotokatodların spektral eğrileri.[37]

Monokromatör

Monokromatörü oluşturan ana elemanlar giriş aralığı, kolimatör, sapmaya neden olan grating, toplayıcı ve çıkış aralığıdır. Şekil 2.2.5’de şematik olarak gösterilmiştir. Yayılan ışık ikinci bir kaynak olarak davranan giriş aralığına gelir. Bir konkav ayna veya lens olan kolimatör, paralel olarak gelen ışık hüzmesinin tamamının saptırma elemanına düşürüldüğü kısımdır. Aynı zamanda bir lens veya konkav ayna olan toplayıcıda saçılan ışığı çıkış aralığı düzlemine odaklar. Saptırma elemanının döndürülmesiyle dalgaboyu aralığı $\Delta\lambda$ olan, istenilen renkteki ışık elde edilir. Bir monokromatörün kalitesi aşağıdaki parametrelerle belirlenir.

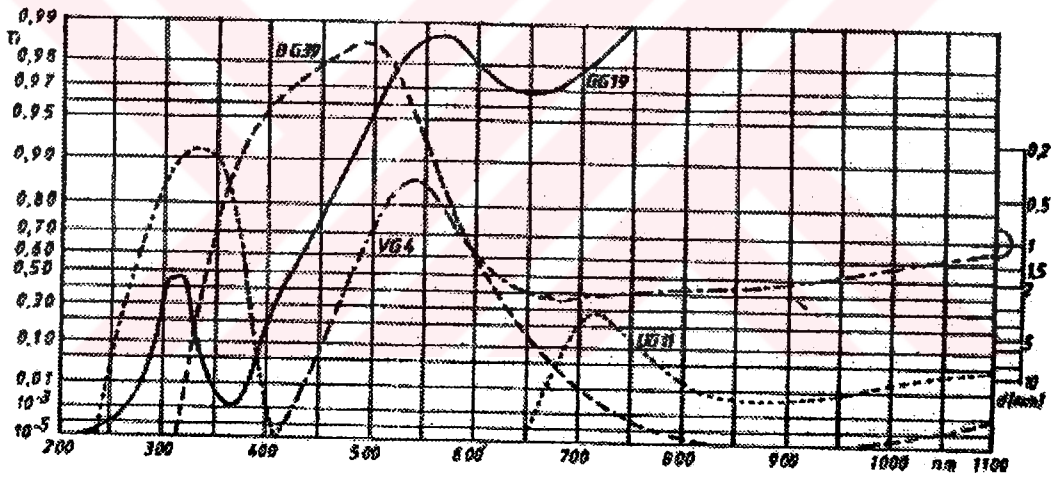
- Linear saçılma karşı düşen Monokromatörün çözme gücü;
- Aralık Genişliği;
- Diğer etkilerden dolayı monokromatörde serbest dolaşan ışık;
- Saçılan Işık;



Şekil 2.2.5: Bir monokromatörün yapısı [37].

Optiksel filtre

UV-VIS ve NIR bölgelerinde seçici bir şekilde ışığı absorp eden renklendirilmiş camdır. Bu filtreleri üreten birçok firma vardır. Filtrelerin aralık ve özellikleri ifade edilirken bu firmaların üretimleri göz önüne alınır.



Şekil 2.2.6: UG11, BG39, VG4, GG19 renklendirilmiş cam filtreler için iletim eğrileri.[37]

Optiksel filtreler üç temel grupta sınıflandırılabilirler, basit filtreler, iyon-renklendirilmiş filtreler ve tempered filtreleri. UV bölgesinde oluşturulan absorpsiyon eğrilerinin kıyılarının farklı bir şekilde değiştirildiği tekniksel ve optiksel camlardan meydana gelen basit filtreler renksizdir İyonlarla renklendirilmiş filtreler çözünen metal iyonlarının absorpsiyonu ile oluşan dalgaboylarındaki renkleri verirler. Bu filtreler için UV-VIS bölgesinde oldukça sınırlı absorpsiyon bantlarına

sahip bakır, krom, manganez, demir, kobalt, vanadyum, titanyum, neodmiyum ve praseodimiyum metalleri tercih edilir. Yapılarını ele alırsak, çoğunlukla eriyen metal oksidin cam tabanına eklenmesinden yapıldıklarını görürüz. Eski zamanlarda renkli cam yapmak için böyle bir metod kullanılmazdı. Renk, metal-iyon konsantrasyonuna, bazı metallerin durumuna ve renklendirilmiş metal iyonlarının oranlarına bağlıdır. Şekil 2.2.6 UG 11, BG 39, VG 4 ve GG 19 cam filtreleri için tipik iletim eğrileri gösterilmiştir. Yeryüzünde nadir olarak bulunan, Nd^{3+} ve Pr^{3+} iyonlarıyla oluşturulan renkli filtreler Şekil 2.2.6'da gösterilen örneklerdeki absorpsiyon bantlarından çok daha dar bantlara sahiptir. Şekil 2.2.6'da dalga boyu λ 'ya karşı düşen iletim eğrileri logaritmik ölçekte çizilmiştir. Ayrıca bu Şekilde iletimin en fazla ve en az olduğu bölgeler gösterilmiştir.

Çığ Fotodetektörü

Fotodetektörlerin fiziksel mekanizmasının önemi fotonların absorpsiyonudur. Bu absorpsiyon fotovoltaj detektördeki bir fotovoltaj veya bir fotoiletkende foton akımının üretimi gibi olaylarla elektronik sistemin elektrik özelliklerini değiştirir. Fotodetektörün performansı optiksel absorpsiyon, taşıyıcı nakilleri ve devre sistemleriyle etkileşim işlemlerine dayalıdır. Arabant absorpsiyon elektron delik çiftleri yaratır. Bu üretimden sonra elektronların ve deliklerin nakilleri fotodetektörlerin dizaynına dayalıdır. Verilen optiksel ışının harici devreler yardımıyla yükseltildiği foton akısını artırma için bazı çoklamalı işlemlerden faydalanılabilir. Bu çoklamalı işlemlerin gerçekleştirildiği en ideal alet tek taşıyıcılı fotomultiplierdir. Eğer çarpma ile iyonizasyon oluşumu şiddetli bir elektrik alanlı bölgede olursa, taşıyıcı konsantrasyonu büyüyecek. Yarıiletkenlerde, hem elektronlar hem de delikler daha fazla iyonize olmuş elektron-delik çiftleriyle çarpışabilirler. Bu durum Şekil 2.2.7'de gösterilmiştir. Bir çığ fotodiyodu için şematik diyagram Şekil 2.2.8'de gösterilmiştir. Geribesleme işlemi elektronlar ve deliklerin zıt yönlerde hareket etmesinden dolayı oluşur. Şimdi çığ fotodetektörünün parametrelerini tanımlayalım.

α_n = elektron iyonizasyon katsayısı (1/cm)

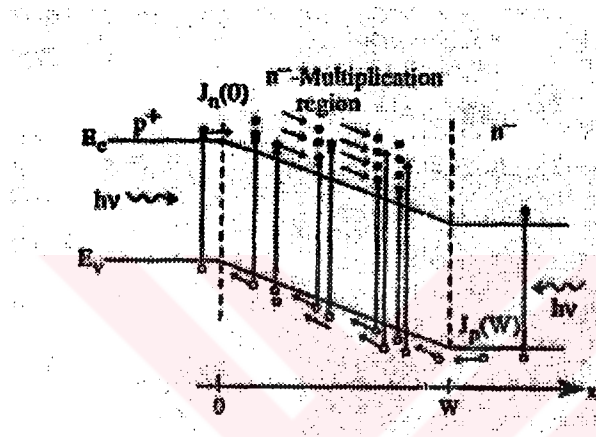
= Birim uzaklığa düşen bir elektron tarafından üretilen elektron-delik çiftlerinin sayısıdır.

β_p = delik iyonizasyon katsayısı (1/cm)
 = Birim uzaklığa düşen bir delik tarafından üretilen elektron-delik çiftlerinin sayısıdır.

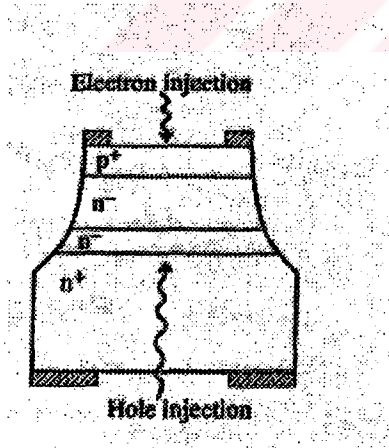
Genel olarak, çoğu yarıiletken için $\alpha_n = \beta_p$ 'dir. Bu parametreler uygulanan E elektrik alanının exponansiyel bir şekilde değiştiği ifadenin fonksiyonudur.

$$\alpha_n(E) = \alpha_0 \exp(-C_n/E) \text{ and } \beta_p(E) = \beta_0 \exp(-C_p/E)$$

Burada α_0 , C_n , β_0 ve C_p sabitleri malzemeye bağlıdır. Çığ fotodiyotları temellerini incelemek için [14]'e bakınız.



Şekil 2.2.7: Yarıiletkenlerde, hem elektronlar hemde delikler, elektron-delik çiftlerinden daha fazla iyonize etkisi gösterebilirler.[14]



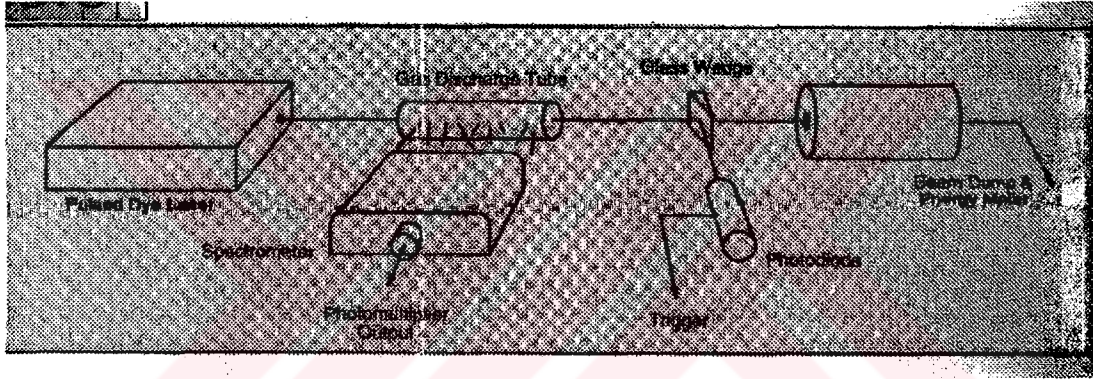
Şekil 2.2.8: Çığ fotodiyodunun yapısı.[14]

Boxcar Integrator

Gated Integrator ve Boxcar ortalama alıcılar, 100 mikrosaniye ve 100 pikosaniye arasındaki zaman skalası ile f_{st} frekansına sahip analog sinyalleride

gözönünde bulundurulacak şekilde dizayn edilir. Tipik uygulama, belirli bir zamanda veya bir gecikme süresini de içine alan bir durumda mutlak bir genişliğe sahip bir harici tetikleme gate'e uygulanarak yapılır. Bir Gated Integrator gelen sinyali yükseltir ve Gatede bir sinyalin var olduğu durumda yükselttiğimiz sinyali gürültüyü ve diğer girişimlerimizi ihmal ederek integre eder. Gated Integratörün çıkışı Boxcar ortalama alıcılar yardımıyla, deneyde kullanılan ve integre edilmiş sinyalin ortalaması alınarak elde edilir. Gate'e uygulanan, herhangi bir sinyale, vuruların sayısının karekökü ile orantılı olarak bir "random walk" işareti ekleneceği için, N_v sayıdaki vurunun ortalaması $\sqrt{N_v}$ 'lik sinyal/gürültü oranının değerini arttıracaktır.

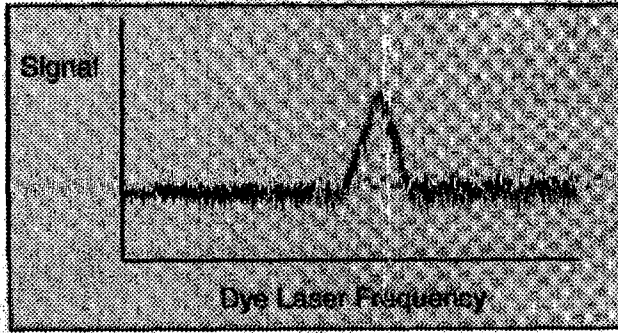
Şekil 2.2.9'da gösterilen SR250 Gated integratörün uygulaması olan spesifik örnektir. SR250 Gated Integrator Stanford Research Sistemleri firmasının cihazıdır.



Şekil 2.2.9: SR250 Gated Integratorun uygulama örneği. [25]

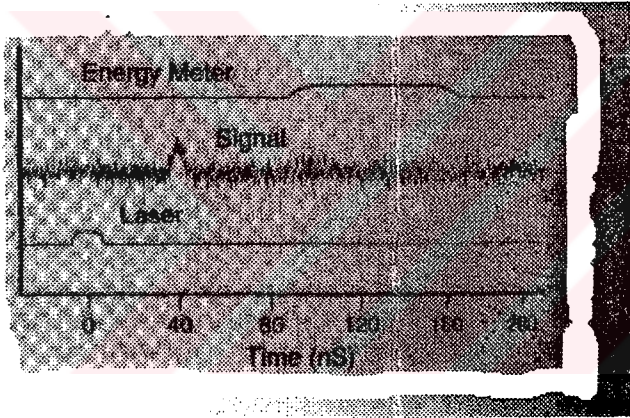
Bu örnekte, bir gaz deşarjı ile uyarılmış atomlar, darbe dye laserları tarafından farklı bir uyarılma durumuna transfer edilmiştir. Deneysel düzenek yukarıda gösterildiği gibidir. Bir darbeli dye lazer hüzmesi başlangıç olarak uyarılmış durumdaki atomları içeren bir gaz deşarj tüpüne gönderilir. Lazer hüzmesinin bir kısmı yarıklardan dışarı çıkar ve gated integratörü tetiklemek için bir fotodiyot yardımıyla alınır. Hüzmenin arta kalanı lazer palsinin enerjisiyle orantılı bir sinyal çıkaran enerjimetre yardımıyla söndürülür. Transfer edilen atom sayısı, geçiş frekansı ile dye lazer frekansı akort edildiği için, son durumdaki ışınımın arttırılmasıyla ifade edilecektir. Deşarj ile uyarılmış son seviyedeki atomlardan gelen flüorışınım sinyalinin backgroundu, lazerin indüklediği sinyalden daha büyük olduğu için deney zordur. Fotomultiplierli bir monokramatör son durumdaki dalgaboyunda

bulunan sinyali detekte eder. Lazerin çıkışında üretilen dalgaboyu akort edilirken Şekil 2.2.10'a benzer birşeyler fotomultiplierda görürüz.



Şekil 2.2.10: Lazer Çıkışı.[25]

Diğer deneysel birkaç görünüş Şekil 2.2.11'deki zamanlama diyagramı ile gösterilmiştir.

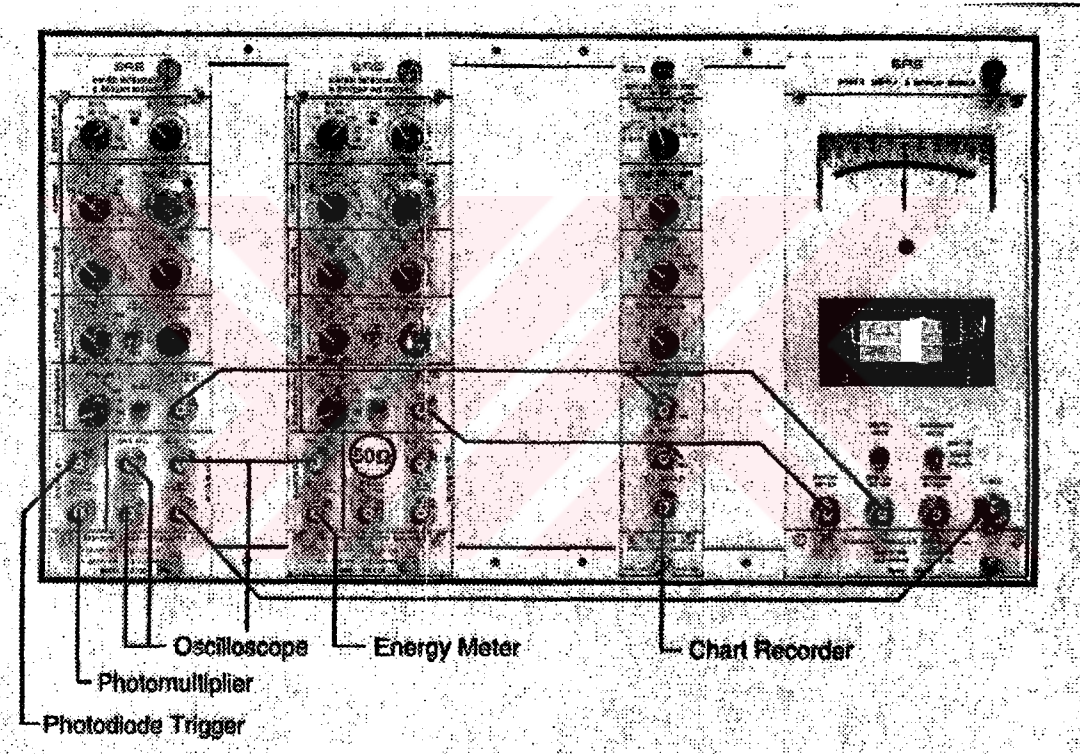


Şekil 2.2.11: Beklenen Çıkış.[25]

- 1- Lazer çıkışındaki darbe genişliği yaklaşık 8ns civarındadır.
- 2- Fotokatodlarda çarpışmaya uğrayan fotonların ürettiği sinyalin anotta görülmesi bir zaman alır. Bu durum Fotomultiplier çıkışının 40ns'yelik bir gecikme ile elde edilmesine sebep olur.
- 3-Backgroundun %25'i indüklenen Lazer sinyalıdır ve deneyi gerçekleştiren Standford Şirketi çalışanları 5:1'lik sinyal/gürültü oranı elde etmeyi arzular.

Şekil 2.2.12'de boxcar cihazı gösterilmiştir. SR250 aslında fotomultiplier tüpünün çıkışına bakmak için kullanılır. Sinyal/gürültü oranını maksimize etmek için, bu integratörün yalnızca sinyal mevcut olduğu zaman süresince çalıştığı

düşünülür. Eğer gate(kapı)'i çok geniş tutarsak, çok fazla sinyal olmaksızın backgroundu daha fazla integre edeceğiz. SR250 lazer darbesinin küçük bir yansımasının görüldüğü bir fotodiyot ile tetiklenecektir. Lazer darbesi kendi kendini tetikler. Lazer ve lazerin kendi tetikleyicisi arasındaki gecikme ihmal edilebilir. Sinyal backgroundun yalnızca %25'i olduğu için, istenilen sinyal/gürültü oranı 5:1 elde edilir. Sinyal/gürültü'de 20 katlık düzeltme gereklidir. Bu 202 veya 400 vuru üzerinden alınan ortalama ile başarılabılır. Eğer lazer 10Hz'de ateşleniyorsa, bu herbir noktada çıkış almak için enaz 40ns beklenilmesinin gerekli olması anlamına gelir.

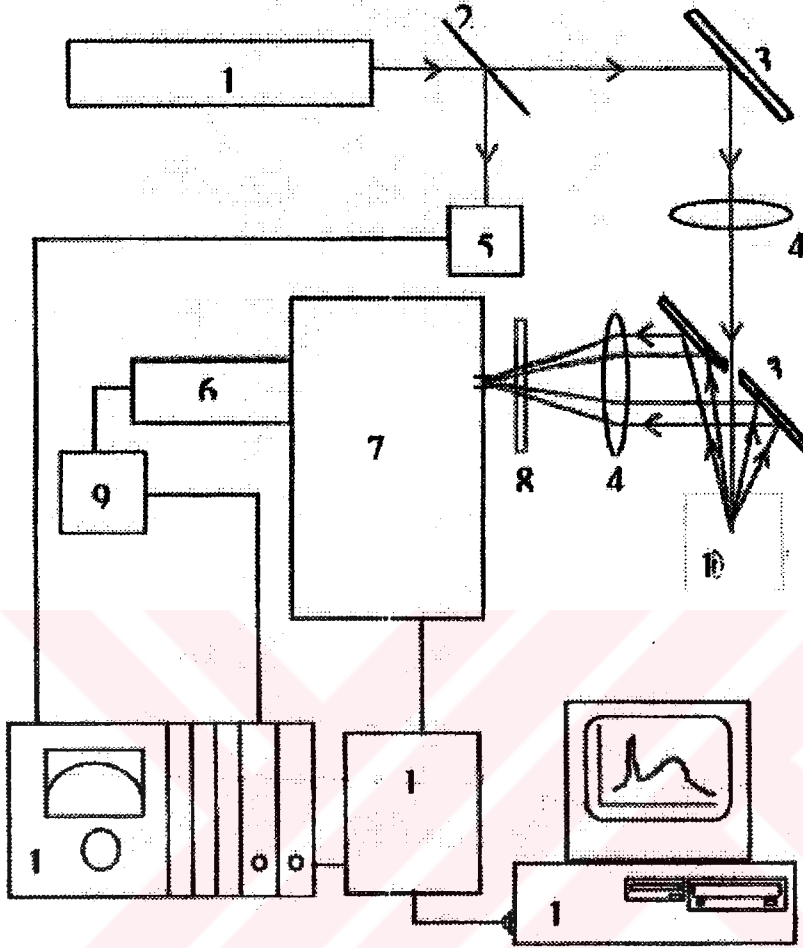


Şekil 2.2.12: SR250 Gated Integrator (Boxcar Integrator).[25]

Deney Düzenegi

UV N₂ darbe Lazerinin ışınlamının uyarmasıyla, seyreltilmiş su kaynaklarında organik kirliliğin zayıf foto ışınlam sinyallerini ölçme işlemini gerçekleştiren deney düzenegi Şekil 2.2.13'de verilir. $\lambda = 337.1$ 'lik dalga boyunda maksimum ışınlamı ultraviyole(morötesi) N₂ darbe Lazeri flüorotşıl uyarılma için kullanıldı.

Lazer darbesi periyodu 15×10^{-9} s ve yaklaşık 1KW peak gücündedir. Tekrarlanma oranı 25'den 50 Hz'e olan aralık içinde değişir.



Şekil 2.2.13: Deney düzeneğinin şeması

Çalışılmakta bulunan 350-600nm dalga boyu bölgesinde, 0.4-2nm/mm'lik dağılıma sahip Prizma Monokromatörü SPM-2(7) ışınım dalga boyunu seçmek ve spektrum boyunca tarama yapmak için kullanıldı.

Teklif ettiğimiz aralıkların(slitler) 0.1-0.2nm olarak kullanılmasıdır. Bu yüzden sonuç 0.5nm'den daha kötü değildir. Işınımın geri saçılan ışınım sinyali, merkezi delik(3), lens(4) ve bir aynanın yardımıyla monokromatör sliti üstünde toplandı. Sinyalin tüm spektral bölge için eş zamanlı bir şekilde şeffaf olması yüzünden optiksel cam filtre(8) uyarılmış lazer ışınımını bastırdı. Sb, Na, K, Cs gibi maddelerle kaplanmış fotokatodlu fotomultiplier(6) ışınım sinyalinin deteksiyonu için

kullanıldı. Lazer ışınının bir kısmı, sinyalin test edildiği boxcar-Integrator(11)'in tetiklenmesinde bir referans sinyal oluşturan çıkış fotodetektör (avalanche photodetector)(5) için ana sinyalden bir şeffaf plaka kullanılarak elde edildi. Fotoçoğullayıcı (photomultiplier) çıkışındaki sinyal özel bir akım amfisi (Current Amplifier)(9) ile yükseltildi ve BCI-280 Boxcar-Integrator(11) tarafından kaydedildi. Elde edilen pals miktarları toplanılarak sinyal elde edildi ve bu sinyal bilgisayara(13) arabirim cihazı vasıtasıyla transfer edildi.

Arabirim (Interface facility)(12) spektrum üzerinde tarama kontrolünü oluşturdu ve sonra bilgisayara gönderilen data, burada dijital işlemlerle ölçüldü. Test edilen çözelti UV bölgesinde şeffaf olan dikdörtgen bir kuartz kaba yerleştirildi. Deney hassasiyeti 10^{-7} - 10^{-8} mol/l 'lik büyüklükte olan kimyasal maddeler için suda ÇOM seviyesini belirlemede yeterince yüksekti. Spektrometre $\sim 10^2$ 'lik dinamik bir aralığa sahipse, uygulanamayan $\nu=3440 \text{ cm}^{-1}$ 'lik frekanslı Stokes Raman spektrum bileşeni tecrübelerden bulundu. Işınım band yoğunluğu seçilene kadar, standartlarda bulunan hem 1600 cm^{-1} 'lik hemde 2440 cm^{-1} 'lik su Raman spektrum bantları seçilip, filtre tarafından zayıflatıldı.

3 TARTIŞMA

İçme suyunun ve bir kente ait su sisteminin kontrolü için lazer fluorometri kullanımına bir örnek olarak, Gebze'deki su kaynaklarını ele aldık. Kente ait su kaynağı örnekleri Aralık 1998'de alındı. Bir hafta içinde farklı örnekler toplandı ve ortalama durumu test etmek için karıştırıldı. Aynı kentte İçme suyu örnekleri, özel içme suyu kaynaklarının ve bu bölgedeki insan su kaynaklarının tipik örneklerinden elde edildi. Bu örneklerin fotoışınım karakteristikleri Şekil 3.1'de bulunur. Bütün spektra RS sinyalinin yoğunluğu ile normalize edildi.

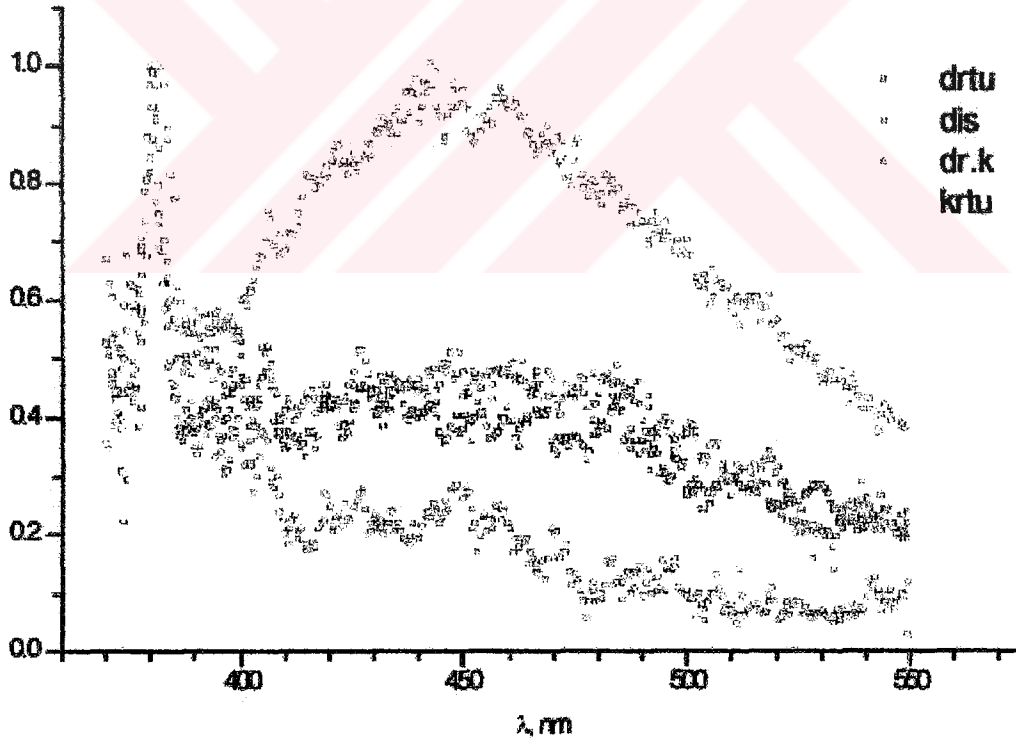
Bu şekilde;

Kırmızı noktalar; damıtılmış su için,

Siyah noktalar; içme suyu için,

Mavi noktalar; kaynatılan içme suyu için,

Yeşil noktalar; kentsel su kaynak sistemi içindir.



Şekil 3.1: Su kaynaklarının fotoışınım spektrumu

Herbir spektra iki temel banttandır oluşur. $\lambda = 380$ nm'deki su molekülleri tarafından oluşturulan dar band ve çözünen organik moleküllerin fotoışınımının birleştirildiği geniş banddan oluşur. Geniş bandın backgroundu üstünde $\lambda = 440, 460, 480$ nm'deki birkaç peak kompleks bir yapıya sahiptir. Işınım bandları ve Raman yoğunluğu kentsel su kaynak sistemleri için istenilen şekilde elde edilebildi. Bu örnekte farklı kirliliklerin oldukça yüksek konsantrasyonda olduğunun kanıtları verilir ve içme amaçlı bu suların kullanımı insan sağlığı için zararlı olabilir. Özel İçme sularından örnek alınması durumunda ışınım bandının yoğunluğu ÇOM için olanından çok daha azdır. Aynı zamanda damıtılmış su için fotoışınım referans bir spektra olarak Şekil 3.1'de bulunur ve referans çizgisi olarak kullanılabilir.

İçme suyunda bulunma durumunda eğri altında kalan tüm spektral alanda damıtılmış suyun referans çizgisinin yerine konulmasından sonra kentsel su kaynakları için alınan örnek diğerlerinden 5 kez daha azdır. Geniş bandın bu yoğunluğu (ÇOM'un seviyelerine karşı düşer) bu bölgede içme amaçlı su kaynaklarının kabul edilmesi için bir referans değer olarak kullanılabilir. Biz 15 dakika kadar içme suyunu kaynatarak kullanmayı denedik. Her şehir sakini bu işlemi, temizleme (Saflaştırma) ve dezenfekte edici olarak kullanmaktadır. Işınım yaratan maddenin konsantrasyonu bizim çalışmamızda kaynatılmamış su için elde ettiğimiz sonuca yaklaşık eşit seviyede olur.

Su buharlaşmasına bağlı olarak arttırılan flüorışıl sinyal ışınımı, ÇOM konsantrasyonunun zayıf bir artışı olarak açıklanabilir. ÇOM konsantrasyonunun eksiksiz hesaplanması için önceden tanımlanan konsantrasyonlar ile örnekler üstünde eğri kalibrasyonu yapılmalıdır. Çoğu durumda, bu lazımlı değildir. Örnek olarak, su kalitesinin belirlenmesi yalnızca ihtiyaca cevap verir. Kent su kaynak sistemlerinde tehlikeli durumlarda hızlı sonuç alma ve saflaştırma istasyonları için kullanılan Lazer fluorometri metodu diğerlerinin yanında bazı avantajlara sahiptir.

-Bu tanıtılan metod, herhangi bir kaynakta hızlı, etkin ve net olarak su kalitesini değerlendirmeye müsaade eder.

-(10^{-7} - 10^{-8} mol/l)'lik oldukça büyük kimyasal madde miktarını içeren su içinde minimum konsantrasyon seviyelerinin ne olması gerektiğini belirlemede oldukça hassastır.

-Bu metod gerçek zaman rejiminde su kalite monit6rlemesinin oluřmasına m6saade eder.

-Onunla su kaynaklarının uzaktan monitorlenmesi m6mk6nd6r.

- Bu metodun bazı dezavantajları vardır:

-Organik kirlilik ışımasına tam olarak hassas değildir.

-Aynı zamanda, bu metod situda belirtildięi gibi tek metod değildir.

Sonuç olarak diyebiliriz ki; ultraviyole(mor6tesi) uyarılması altında fotoışınım yapan birçok organik madde olduğuna dikkat etmek gerekir. Diğer metodların zararlı karakteristikleri y6z6nden bu metodlarla organik maddelerin detekte edilmesi zordur. Lazer fluorometri metodu; insan kullanımı için su kalitesinin karmaşıklığını belirlemede diğer metodlarla (biyolojik ve kimyasal analiz) birleştirilmelidir.

4 SONUÇ

Pestisitler, başlangıçta bitki ve hayvanlara zarar veren böcekleri öldürmek için kullanıldı ve hala bu amaç için kullanılmaktadır. Fakat her zaman başımıza bela olmuşlardır. Endüstrinin gittikçe gelişmesi sonucunda atıklar yaratılmıştır. Eğer bu gelişimi gözönünde bulundurursak, gittikçe daha fazla kötü bir duruma gideceğimizi söylemek yanlış olmaz. Başlangıçta, gerek kimyasal işletme atıkları gerek diğer endüstri atıkları herhangi bir arıtma işlemine tabii tutulmaksızın nehirlere, okyanuslara ve göllere boşaltıldı. İçme suyu kaynağı olarak gerek yeraltı gerek yeryüzü sularının kullandık. Bu kaynaklar hiçbir şey gözönüne alınmaksızın kirletildi. Ekolojik çevrede bu kirleticiler sürekli olarak nakil mekanizması tarafından nakledildi. Özellikle de hidrolojik çevrimde taşındılar. Bunun sonucunda su yaşamındaki su canlıları etkilendi ve içme suyu olarak bu suyu kullanan insanlar çeşitli hastalıklara yakalandı. Şimdiye kadar, bu toplu balık ölümleri ve deniz kuşlarının soylarının tükenmesi olarak örneklendirilebilir. Elbette insanlar bu durumdan doğrudan doğruya nasibini aldı. O zaman insanların içme suyunu taşımak için boru sistemi ve su arıtma işletmeleri kurmaktan başka seçim bırakılmadı. Su arıtma sistemi olmasına rağmen bugün hala su organik kirlilik taşıyabilir. Bunun yanında elbette doğal su kirliliğide vardır. Eğer zehirli maddeleri kontrol altına almazsak ve ölçüm önlemlerinde bulunmazsak korkunç manzaralarla, akut ve kronik hastalıklarla karşı karşıya gelebiliriz. Bunun için içme suyu düzenli olarak arıtma işlemlerinden sonra kontrol edilmelidir. Fakat bu kontrol özellikle organik kirlilik için zordur. Çünkü ölçümler genel olarak başka bir zamanda örnek alınarak laboratuvar koşullarında yapılır. Belki laboratuvarında doğal ortam koşulları elde edilemez. Sonuç, gerek gaz kromatografik metod gerek diğer metodlarla sağlıklı olarak elde edilemez. Çünkü bu metodlarla alınan örnekler biyolojik ve kimyasal işlemlerden geçirilir. Bu işlemler çok karmaşıktır. İstenilen ekstrakt belirli zamanlarda böyle zor işlemler tarafından gerçekleştirilir.

Burada ele alınan lazer fluorimetri metodu bu metodların hepsinden daha hassastır ve kısa sürede cevap verebilir. Herşeyden önce birkaç dakikada suyun istenilen kısmındaki organik su kirliliği spektrumunu ve bu sonucu gerçek koşullar altında alabilirsiniz. Demek istediğim beklemeyecek olmanızdır. Çok pratik bir

metodtur. Ayrıca kullanılan lazer hüzmelerinin monokromatik ve şiddetli olması çok önemlidir. Çünkü sudaki organik kirlilik çok zayıfsa, lazer hüzmelerinin şiddeti ve yoğunluğu sonucu elde etmemize izin verir. Böyle bir sonucu diğer metodlarla elde etmek çok zor işlemler gerektirecektir. Diğer metodlar genel olarak zararlı maddeleri bozar ve çoğu zaman organik kirlilik yaratan maddenin kimyasal formülünü belirlemek imkansızdır. Deneylerimizden bu metodun içme amaçlı olarak su kaynaklarını ifade etmede kullanılabildiği açıktır. Su örneklerinin belediye su kaynak sisteminden alınması durumunda çözünen organik madde konsantrasyonu içme suyu için olandan enaz 3 kez daha yüksektir. Metod standartlara uygun bir şekilde yapıldığından dolayı uluslararasıdır. Raman saçılımı yardımı ile kalibrasyon yaparız. Sonuç olarak ışık her ortamda yayıldığı için bu metoddan her konuda yararlanabiliriz. Bu metod diğer metodlarla birlikte kullanılırsa, sonuç daha mükemmel olarak elde edilebilir.

Gebze bölgesinde alınan su örnekleri suda bulunan organik kirliliğin hangi ölçekte olduğu hakkında bize fikir verdi. Bu konuyu tezin tartışma bölümünde geniş olarak ele aldık. Sonuç olarak diyebiliriz ki gerek damıtılmış su gerek diğer su örnekleri organik bir kirlilik göstermektedir. Bugün TSE'ye organik kirliliği ölçmede çok pratik olan bu metodu kullanmasını tavsiye ederiz. Çünkü Türkiye hala organik su kirliliğini belirleyemiyor. Bu metod bize çok karmaşık işlemlerle karşılaşmadığımız ucuz bir deteksiyon işlemi sağlar. Bu metodu derhal kullanmalıyız. Bu metoddan daha bir pratik olan yeni bir metod bulunana kadar onu kullanmaya devam edeceğiz kanısındayım.

KAYNAKLAR

- [1].Türkiye’de Çevre Kirlenmesi Öncelikleri Sempozyumu II.Cilt 22-23 Mayıs 1997.
GYTE Enstitüsü Çevre Mühendisliği Bölümü Gebze-Kocaeli Poster Makaleler
Kısmı sayfa 919.
- [2].Klyshko D.N., Fadeev V.V., Reports of the Academy of Sciences of the USSR
(1978), V.238, N2(in Russian)
- [3].Demidov A.A., Ivanov I.G., Bulletin of the Academy of Sciences of the USSR,
ser. Biology(1989),N3,p.378(in Russian)
- [4].Fadeev V.V., Ivanov I.G., Quantum Electronics(1988), V.15, N1, p.191-197(in
Russian)
- [5]. Fadeev V.V., Chubarov V.V., Reports of the Academy of Sciences of the USSR
(1981), V.261, N2, p.342-344(in Russian)
- [6].Vinogradov A.V., Kriksunov S.A., Surovegin A.L., et.al., in Determination of
normalizing components in natural and sewage waters. M.Nauka.(1987), p.168-175
(in Russian)
- [7].Barteniev V.Ia., Denisov L.K., Salonistov M.A., et.al., Electronic Engineering
(1987), issue 13, (123), p.70-76 (in Russian)
- [8].Filippova E. M., Patsayeva S.V. Laser Fluorescent Monitoring of Dissolved
Organic Matter in Natural Water. Physics Department of Moscow State University
(1994) Moscow.
- [9].T. Hengsterman, R.Reuter, Applied Optics(1983) V.22, N21, p.3316-3317
- [10].B.Magnus Francis Toxic Substances in the Environment (1943) John Willey &
Sons, Inc.(1992), p.96.
- [11].Jerald L. Schnoor Fate of Pesticides and Chemicals in the Environment, in
Environmental Science and Technology, John Willey & Sons, Inc.(1992)
- [12].J.Jeffrey Peirce, Ruth F. Weiner, P.Aurne Vesilind (1998), Environmental
Pollution and Control, fourth edition, Butterworth-Heineman supports, p.92.
- [13].Galen W. Ewing, Instrumental Methods of Chemical Analysis, Fifth Edition.
McGRAW-HILL International Editions(1982), p.125.
- [14].Shun Lien Chuang, Physics of Optoelectronics Devices, John Willey & Sons,
Inc.(1995), p.604.

- [15]. Maslukova L.L., Demidov A.A., Fadeev V.V., et.al. X-th All Union Conf. Coherent and Non Linear Optics, Kiev.(1980), p.97(in Russian)
- [16]. Demidov A.A., Fadeev V.V., Klyshko D.N., et.al. Reports of Oceanographic Institute, M. Nauka.(1980) (in Russian)
- [17]. Kung R.T., Idzkan I., Applied Optics.(1976), V.15,N.2, p.409-415.
- [18]. I.Lazari, G.Gomoja, V. Ciobanu, A.Furnica. Chemical and Biological Means for Plant Protection and Growth Stimulation. Kishinev, Shtiinta.(1997) (in Moldavian)
- [19]. Martynenko V.I., Promonenkov V.K., Kukalenko S.S., Volodkovich S.D., Kasarov V.A. Pesticides, Databook, M. Agropromizdat.(1992) (in Russian)
- [20]. Melnikov N.N., Pesticides Chemistry and Technology, M.Chimia(1974), (in Russian)
- [21]. L.Brajnikov, M.Tarasov, V.Shlitchkova, et.al., Hydrochem. Inst. Rostov-na-Don,(1988), p.125-132(in Russian)
- [22]. G.Barry Oliver, Desorbition of Chlorinated Hydrocarbons from Spiked and Antropogenically Contaminated Sediments. Chemosphere.(1985), V.14, N8, p.1087-1106.
- [23]. F.Kutz, A.Carey, Pesticides and Toxic Substances in the Environment. J.of Arboriculture.(1986), V.12, N4, p.92-95.
- [24]. Türkiye'de Çevre Kirlenmesi Öncelikleri Sempozyumu I, 21-22 Mayıs 1991, Bogaziçi Universty, Bebek,İstanbul.
- [25]. Stanford Research Systems, Scientific and Engineering Instruments 1998-1999, p.126.
- [26]. Fulton G.Kitson, Barbara S. Larsen, Charles N.McEwen, et.al., Gas Chromatography and Mass Spectrometry, a pratical guide, Academic Press(1996).
- [27]. Prof.Dr. Mehmet Karpuzcu, Çevre Kirlenmesi ve Kontrolu, Kubbealtı Neşriyatı(1994).
- [28]. S.M.Haslam, River Pollution and Ecological Perspective, John Willey & Sons, Inc.(1994).
- [29]. Jan R. Dojlido, Gerald A. Best, et.al., Chemistry of Water and Water Pollution, Ellis Horwood Limited(1993).
- [30]. American Water Works Association, Water Qulity and Treatment, a Handbook of Community Water Supplies, fourth edition, McGRAW-HILL International Editions(1990).

- [31].George L.Trigg, Encyclopedia of Applied Physics, VCH Publishers, Inc.(1996), V.15.
- [32].Warren Viessman, Mark Jr. Hammer, et.al., Water Supply and Pollution Control, fourth edition, Harper Collins Publishers Inc.(1985).
- [33].Robert M. Silverstein, Francis X. Webster, et.al., Spectrometric Identification of Organic Compounds, sixth edition, John Willey & Sons, Inc.(1998).
- [34].M.Cardona, Topics in Applied Physics, second edition, Springer-Verlag Berlin Heidelberg 1975 and 1983, V.8.
- [35].Orazio Svelto, Principles of Lasers, second edition, Plenum Press-New York and London(1982).
- [36].M.J.Beesley, Lasers and Their Applications, Taylor & Francis Ltd.(1971).
- [37].Heinz-Helmut Perkampus, Encyclopedia of Spectroscopy, Federal Republic Germany(1995).
- [38].Sidney Perkowitz, Optical Characterization of Semiconductors Infrared, Raman and Photoluminescence Spectroscopy, Academic Press Ltd.(1993), second printing.
- [39].Noel de Nevers, Air Pollution Control Engineering, McGRAW-HILL International Editions(1995).
- [40].TSI, Water Intended for Human Consumption, The Institute of Turkish Standards (Nisan 1997).

ÖZGEÇMİŞ

Zehra Saraç 1970’de Trabzon’da doğdu. 1992’de Yıldız Teknik Üniversitesinden Elektronik ve Haberleşme Mühendisi olarak mezun oldu. 1992-1994 yılları arasında ASELSAN kuruluşunun yetkili bayisinde teknik destek mühendisi ve satış mühendisi olarak çalıştı. 1994-1995 yıllarında Diler Demir Çelik End. ve Tic. A.Ş’de bakım mühendisi olarak görev yaptı. 1995-1997 yılları arasında Profilo Telra A.Ş’de arge bölümünde CAD mühendisi olarak çalıştıktan sonra 1998 yılında Rumeli Holdingte Telsim şirketinde proje mühendisi olarak çalışırken, GYTE’de asistanlığı kabul ederek özel sektördeki iş hayatına son verdi. Halen bu göreve devam etmektedir.



EKLER

EK 1.

Diğer İçme Suyu Parametreleri İçin Standartlar.

Yumuşatılmış Sınıf 1 Sular İçin Konsantrasyon Değerleri (TSE)

Özellik	Değer, en çok
Toplam sertlik, mg CaCO ₃ /l	150
Alkalilik, meq NaOH/l	0.5

Radyoaktif Özellikler (TSE)

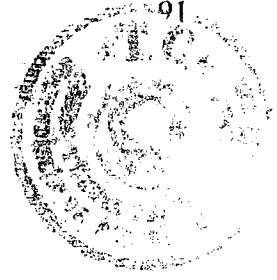
Özellikler	Sınıf 1		Sınıf 2
	Tavsiye Edilen Değer (GL)	Müsaade edilebilecek Maksimum Değer (MAC)	Müsaade edilebilecek Maksimum Değer (MAC)
α aktivitesi Pci/l (Bq/l)	-	1 (0.037)	1 (0.037)
β aktivitesi, pCi/l (Bq/l)	-	10 (0.37)	10 (0.37)

Suda Fazla Miktarda Bulunması İstenmeyen Maddeler (TSE).

Madde	Sınıf 1		Sınıf 2
	Tavsiye Edilen Değer (GL)	Müsaade edilebilecek Maksimum Değer (MAC)	Müsaade edilebilecek Maksimum Değer (MAC)
Nitratlar, mg NO ₃ /l	25	50	25
Nitritler, mg NO ₂ /l	-	0.1	0.1
Amonyum, mg NH ₄ /l	0.05	0.5	0.05
Kjeldahl Azotu, mg N/l	-	1	1
Potasyum permanganate indeksi, mg O ₂ /l	2	5	5
Demir, µg Fe/l	50	200	50
Mangan, µg Mn/l	20	50	20
Bakır, µg Cu/l	100 or 3000	3000	100
Çinko, µg Zn/l	100 or 5000	5000	400
Fosfor, µg P ₂ O ₅ /l	400	5000	400
Florür, µg F/l			
(8-12)°C'de	-	1500	1000
(25-30)°C'de	-	700	700
Askıda katı madde, mg/l	unfound	1	0.5
Baryum, µg Ba/l	100	300	100
Gümüş, µg Ag/l	-	10	10
Bor, µg B/l	1000	2000	1000

Fizikokimyasal Özellikler (TSE)

Özellikler	Sınıf 1		Sınıf 2
	Tavsiye Edilen Değer (GL)	Müsaade edilebilecek Maksimum Değer (MAC)	Müsaade edilebilecek Maksimum Değer (MAC)
Sıcaklık °C	12	25	25
PH	$6.5 \leq \text{pH} \leq 8.5$	$6.5 \leq \text{pH} \leq 9.2$	$6.5 \leq \text{pH} \leq 8.5$
Renk, mg/l Pt skalası	1	20	1
Bulanıklık	5 units	25 units	5 units
İletkenlik 20°C'de, $\mu\text{sn/cm}$	400	2000	650
Klorürler mg Cl/l	25	600	30
Serbest klor (Cl_2), mg/l	0.1	0.5	-
Sülfatlar mg SO_4/l	25	250	25
Kalsiyum, mg Ca/l	100	200	100
Magnezyum, mg Mg/l	30	50	30
Sodyum, mg Na/l	20	175	20
Potasyum, mg K/l	10	12	12
Alüminyum, mg Al/l	0.05	0.2	0.2
Kurutma kalıntısı , mg /l	-	1500	500
GL: Guide Level, MAC: Maximum Admissible Concentration			



Toksik Maddeler (TSE)

Madde	Sınıf 1		Sınıf 2
	Tavsiye Edilen Değer (GL)	Müsaade edilebilecek Maksimum Değer (MAC)	Müsaade edilebilecek Maksimum Değer (MAC)
Arsenik, $\mu\text{g As/l}$	-	50	50
Kadmiyum, $\mu\text{g Cd/l}$	-	5	5
Siyanürler, $\mu\text{g CN/l}$	-	50	50
Krom, $\mu\text{g Cr/l}$	-	50	50
Civa, $\mu\text{g Hg/l}$	-	1	1
Nikel, $\mu\text{g Ni/l}$	-	50	50
Kurşun, $\mu\text{g Pb/l}$	-	50	50
Antimon, $\mu\text{g Sb/l}$	-	10	10
Selenyum, $\mu\text{g Se/l}$	-	10	10

T.C. YÜKSEKÖĞRETİM KURULU
DOKÜMANTASYON MERKEZİ