Afyon Kocatepe Üniversitesi Fen ve Mühendislik Bilimleri Dergisi
Afyon Kocatepe University – Journal of Science and Engineering
https://dergipark.org.tr/tr/pub/akufemubid

Araştırma Makalesi / Research Article
e-ISSN: 2149-3367
DOI: https://doi.org/10.35414/akufemubid.1597059
AKÜ FEMÜBİD **25** (2025) 031201 (471-476)
AKU J. Sci. Eng. **25** (2025) 031201 (471-476)

Alüminyum Tespiti için Kullanılabilecek Kinolin Temelli Yeni Schiff Bazı Sentezi, Karakterizasyonu ve Florimetrik Çalışmaları

Makale Bilgisi / Article Info
Alındı/Received: 06.12.2024
Kabul/Accepted: 16.01.2025
Yayımlandı/Published: 10.06.2025

Synthesis, Characterization and Fluorimetric Studies of a New Quinoline Based Schiff Base Using for Detection Al^{3+}

Meliha KUTLUCA ALICI*
Niğde Ömer Halisdemir Üniversitesi, BOR Meslek Yüksekokulu, Laborant Veteriner Sağlık Bölümü, Niğde, Türkiye

© 2025 The Author | Creative Commons Attribution-Noncommercial 4.0 (CC BY-NC) International License

Öz
Bu çalışmada ilk olarak fluoresans sensör özelliği incelenecek yeni bir Schiff bazı (HQ-BT) bileşiğinin sentezi gerçekleştirilmiş ve yapısı ^{1}H-NMR ve ^{13}C-NMR yöntemleri ile karakterize edilmiştir. Daha sonra bu Schiff bazı türü HQ-BT bileşiğinin çeşitli metal iyonları (Al^{3+}, Cd^{2+}, Li^{+}, Co^{2+}, Ni^{2+}, Fe^{2+}, Zn^{2+}, Mn^{2+}, Ba^{2+}, Hg^{2+}, Fe^{3+}, Mg^{2+}, Cu^{2+}, Ag^{+}) ile fluoresans emisyon özellikleri incelenmiştir. Çalışılan metal iyonları içerisinde sadece Al^{3+} metaline karşı önemli derecede fluoresans emisyon (yaklaşık 100 kat artış) verdiği tespit edilmiştir. Sonuç olarak HQ-BT bileşiği ile Al^{3+} metalinin 1:1 oranında kompleksleşme yaptığı tespit edilmiştir.

Anahtar Kelimeler *Schiff bazı; NMR; Al^{3}; Fluoresans sensör*

Abstract
In this study, firstly, the synthesis of a new Schiff base (**HQ-BT**) compound, to be used as a fluorescence sensor, was carried out and its structure was characterized by 1H-NMR and 13C-NMR methods. Then, the fluorescence emission properties of this Schiff base HQ-BT compound with various metal ions (Al^{3+}, Cd^{2+}, Li^{+}, Co^{2+}, Ni^{2+}, Fe^{2+}, Zn^{2+}, Mn^{2+}, Ba^{2+}, Hg^{2+}, Fe^{3+}, Mg^{2+}, Cu^{2+}, Ag^{+}) were investigated. The metal ions studied; it was determined that only Al^{3+} metal gave significant fluorescence emission (approximately 100-fold increase). It was then found that the new HQ-BT compound gave a significant fluorescence emission (about 100-fold increase) only towards Al^{3+} metal among the metal ions used. Consequently, it was determined that HQ-BT compound and Al^{3+} metal complexed at a ratio of 1:1.

Keywords *Schiff base; NMR; Al^{3}; Fluorescence sensor*

1. Giriş

Alüminyum metali yer kabuğunda bol miktarda bulunan metal iyonlarından biridir (Baral *et al.* 2008, Jali and Baruah 2014, Anand *et al.* 2018, Das *et al.* 2013, Sahana et al. 2013, Bhardwaj *et al.* 2021). Bu sebepten dolayı; havacılık, otomobil, bilgisayar, paketleme malzemeleri, elektrik ekipmanları, gıda katkı maddeleri, bina inşaatı, klinik ilaçlar ve su arıtma gibi birçok alanda kullanılmaktadır (Gupta and Kumar 2016, Kim *et al.* 2012, Liu *et al.* 2016, Pu *et al.* 2016, Xing *et al.* 2022, Mohanty *et al.* 2022, Khan *et al.* 2021, Krewski *et al.* 2007). Aşırı alüminyum maruziyetinin insanlarda Parkinson, Alzheimer, kronik böbrek yetmezliği, böbrek hasarı ve kemik yumuşaması gibi çeşitli rahatsızlıklara neden olduğu literatürde bulunmaktadır (Silva *et al.* 1997, Jeong and Yoon 2012, Bissell *et al.* 1992, Krewski *et al.* 2007, Exley 2013). Dolayısıyla alüminyum metalinin varlığının tespit edilmesi oldukça önemlidir. Alüminyum metalinin tespit edilmesi için elektrokimyasal yöntemler, kütle spektroskopisi (MS), izotop kromotografisi gibi geleneksel yöntemler vardır (Xing *et al.* 2022, Chen *et al.* 2017). Bu geleneksel yöntemler her ne kadar doğru sonuçlar verse de bazı zorluklar içermekle beraber yetersiz tespit limiti gibi sınırlamalarda oluşturmaktadır. Ayrıca bu geleneksel yöntemlerin işlemlerinin zahmetli ve maliyetli olmasının yanında nitelikli personele, pahalı cihazlara ihtiyaç duyması en büyük olumsuzluklarındandır (Peng *et al.* 2022, Roy *et al.* 2021, Sidqi *et al.* 2022, Li *et al.* 2021). Son yıllarda bu geleneksel yöntemlere alternatif olarak fluoresans sensörler bilim insanları tarafından oldukça ilgi görmektedir. Diğer yöntemler ile kıyaslandığında fluoresans sensörler kimyasal modifikasyon kolaylığı, düşük maliyeti, kolay uygulanabilirliği, kalitatif ve kantitatif veri sağlaması gibi avantajlar sağlamaktadır (Peng *et al.* 2022, Liang *et al.* 2015, Kang *et al.* 2016, Erdemir *vd.* 2020, AL-Saeedi *et al.* 2023). Bu çalışmada, ilk olarak 8-hidroksi kinolin kullanılarak 7-karbaldehit-8-hidroksikinolin (HQA) sentezi literatüre uygun olarak gerçekleştirilmiştir (Zeng *et al.* 2006). Sentezi gerçekleştirilen HQA bileşiği ile 2-aminotiyofenol arasında gerçekleştirilen kondensasyon reaksiyonu sonucu yeni 8-hidroksikinolin temelli Schiff bazı türevi (HQ-BT) elde edilmiştir. Elde edilen yeni bileşiğin kimyasal yapısı ^{1}H-NMR ve ^{13}C-NMR spektroskopik yöntemler kullanılarak

*Sorumlu Yazar / Corresponding Author: Meliha Kutluca ALICI
e-posta / e-mail: melihakutlucaalici@gmail.com

aydınlatılmıştır. Kimyasal yapısı doğrulanan yeni Schiff bazı türevi (HQ-BT) bileşiğinin fluoresans çalışmaları DMSO/H_2O (v/v; 3/7) ortamında gerçekleştirilmiştir. Yapılan çalışmalar sonucunda bazı metal katyonları (Al^{3+}, Cd^{2+}, Li^{+}, Co^{2+}, Ni^{2+}, Fe^{2+}, Zn^{2+}, Mn^{2+}, Ba^{2+}, Hg^{2+}, Fe^{3+}, Mg^{2+}, Cu^{2+}, Ag^{+}) arasından sadece Al^{3+} katyonuna karşı renksizden parlak yeşil renge doğru bir fluoresans emisyonu verdiği tespit edilmiştir. Ayrıca yapılan çalışmalar sonucunda HQ-BT bileşiğinin Al^{3+} tespit limiti (LOD) 2.61 µM gibi düşük bir değer bulunmuştur. Sonuç olarak bu çalışmada ortamlardaki Al^{3+} metalinin tespiti için kolay ve basit bir floresans probun sentezi gerçekleştirilmiştir.

2. Materyal ve Metot

Analitik kalitede ticari olarak temin edilebilen 8-hidroksi kinolin ve 2-aminotiyofenol Sigma-Aldrich'ten satın alınmıştır. Çalışmada katyonların perklorat tuzları kullanılmıştır. 7-karbaldehit-8-hidroksikinolin (HQA) bileşiğinin sentezi literatür bilgilerine uygun olarak gerçekleştirilmiştir (Zeng, et al., 2006). Sentezlenen bileşiklerin yapıları NMR (Nuclear Magnetic Resonance Spectroscopy, Bruker Ascend™ 400) spektrometresi kullanılarak belirlenmiştir. Emisyon spektrumları Edinburgh Instruments FS5 floresan spektrofotometre ile elde edilmiştir. Erime noktası Stuars SMP3 melting point cihazı kullanılarak tespit edilmiştir.

2.1 7-(((2-merkaptofenil)imino)metil)kinolin-8-ol (HQ-BT) Sentezi

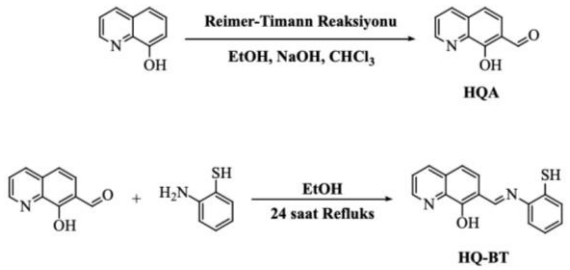
50,00 mg (0,288 mmol) HQA bileşiği 30 mL susuz etanol içerisinde çözüldü. Bu çözelti üzerine 44 mg (0,35 mmol) 2-aminotiyofenol bileşiğinin 10 mL etanol içerisindeki çözeltisi ilave edildi. Elde edilen karışım 24 saat geri soğutucu altında karıştırıldı. Reaksiyon süresi tamamlandıktan sonra karışım oda koşullarına kadar soğutuldu. Oluşan sarı çökelti süzüldü ve etanol ile iyice yıkandıktan sonra vakumlu etüvde kurutuldu.

Verim: 44%; 36 mg.
Erime Noktası: 272-273 ^{o}C;
^{1}H NMR (400 MHz, $CDCl_3$): δ 9.63 (dd, *J* = 8.7, 1.5 Hz, 1H, OH), 8.78 (dd, *J* = 4.2, 1.5 Hz, 1H, CH=N), 8.06 (m, 1H, Aromatik CH), 7.94 (dd, *J* = 7.8, 4.5 Hz, 1H, Aromatik CH), 7.87 (m, 1H, Aromatik CH), 7.55 (dd, *J* = 8.7, 4.2 Hz, 1H, Aromatik CH), 7.44 (m, 1H, Aromatik CH), 7.35 (m, 1H, Aromatik CH), 7.08 (d, *J* = 0.6 Hz, 1H, Aromatik CH), 7.06 (d, *J* = 1.6 Hz, 1H, Aromatik CH), 6.64 (m, 1H, Aromatik CH).

^{13}C NMR (100 MHz, $CDCl_3$): δ 167.33 (CH=N), 156.76 (Arm. C), 149.22(Arm. C), 138.90(Arm. C), 135.07(Arm C.), 134.38(Arm C.), 132.46(Arm. C), 131.61(Arm. C), 127.01(Arm. C), 126.60(Arm. C), 125.87(Arm. C), 123.93(Arm. C), 122.39(Arm. C), 116.89(Arm C.), 111.63(Arm. C).

3. Bulgular

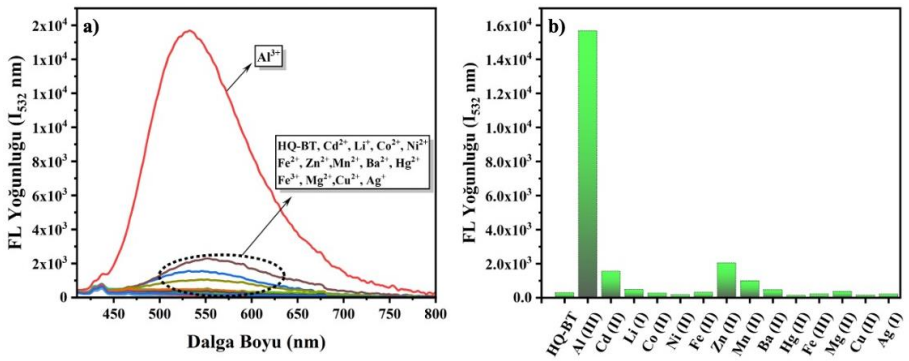
Bu çalışmada ilk olarak fluoresans çalışmalarında kullanılacak olan başlangıç maddesi 7-karbaldehit-8-hidroksikinolin (HQA) bileşiğinin sentezi literatür bilgilerine göre gerçekleştirilmiştir. Daha sonra son ürün olan Schiff bazı bileşiği 7-(((2-merkaptofenil)imino)metil)kinolin-8-ol (HQ-BT) sentezi uygun şartlar altında gerçekleştirilmiştir. HQ-BT bileşiğinin kimyasal yapısı spektroskopik yöntemler (^{1}H-NMR ve ^{13}C-NMR) kullanılarak aydınlatılmıştır. HQ-BT bileşiğinin ^{1}H-NMR spektrumu incelendiğinde HQA bileşiğinin 10.14 ppm' de çıkan aldehit (CHO) pikinin kaybolması ve bunun yerine 8.78 ppm' de Schiff bazı (CHN) pikinin varlığı gözlenmiştir. Tüm sentez şeması şekil 1 de verilmiştir.



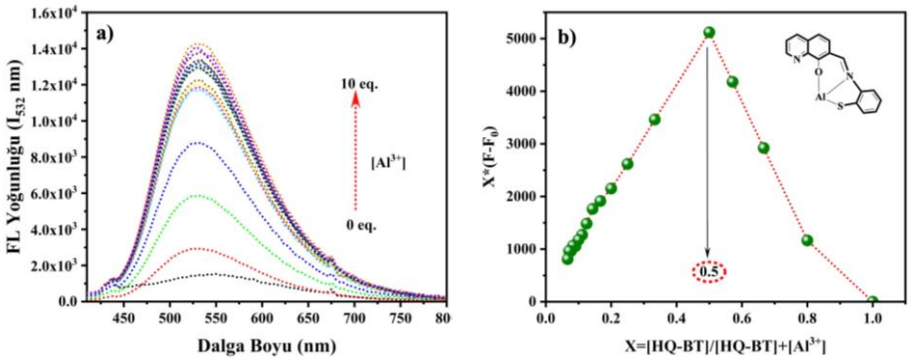
Şekil 1. Bileşik HQA ve HQ-BT Sentezi

Sentezlerin başarılı şekilde gerçekleştirilmesinden sonra HQ-BT Schiff bazı bileşiğinin fluoresans çalışmaları gerçekleştirilmiştir. Bu çalışmaları gerçekleştirmek için ilk olarak HQ-BT bileşiğinin ve kullanılan tüm metallerin (Al^{3+}, Cd^{2+}, Li^{+}, Co^{2+}, Ni^{2+}, Fe^{2+}, Zn^{2+}, Mn^{2+}, Ba^{2+}, Hg^{2+}, Fe^{3+}, Mg^{2+}, Cu^{2+}, Ag^{+}) stok çözeltileri hazırlanmıştır. Fluoresans çalışmalarının hassasiyetinden dolayı hazırlanan stok çözeltiler direkt olarak kullanılmamıştır. Fluoresans çalışmalarında HQ-BT bileşiğinin 10 µM çözeltisi DMSO/H_2O (v/v:3/7) karışımda hazırlanarak kullanılmıştır. Fluoresans çalışmalarında ilk olarak HQ-BT bileşiğinin herhangi bir metal iyonuna karşı seçici olup olmadığının çalışması yapılmıştır. Bunun için tüm metal iyonları ile ayrı ayrı olarak fluoresans çalışmaları gerçekleştirilmiştir. Bu çalışmada görüldüğü üzere tüm metal iyonları varlığında sadece Al^{3+} metal iyonuna karşı bir fluoresans emisyonu görülmektedir (Şekil 2). Bu durum HQ-BT bileşiğinin sadece Al^{3+} metaline karşı fluoresans seçicilik gösterdiğinin kanıtıdır.

HQ-BT bileşiğinin Al^{3+} metal iyonlarına karşı fluoresans olarak seçiciliğinin tespitinden sonra HQ-BT ile Al^{3+} arasındaki etkileşimi daha ayrıntılı olarak incelenmiştir. Bunun için HQ-BT ile Al^{3+} metalinin fluoresans titrasyon çalışması gerçekleştirilmiştir.

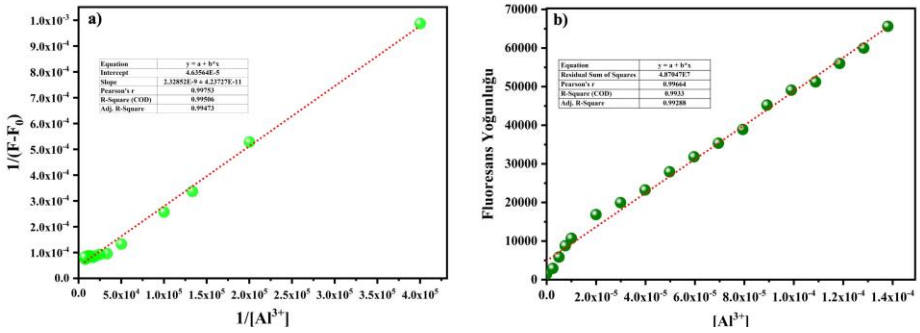


Şekil 2. a) HQ-BT'nin farklı metal iyonları varlığında fluoresans grafiği (λ_{ex}: 380 nm; Ex-Slit: 2, Em-Slit: 2; λ_{em}: 532 nm) b) HQ-BT'nin farklı metaller varlığında fluoresans seçicilik kolon grafiği.



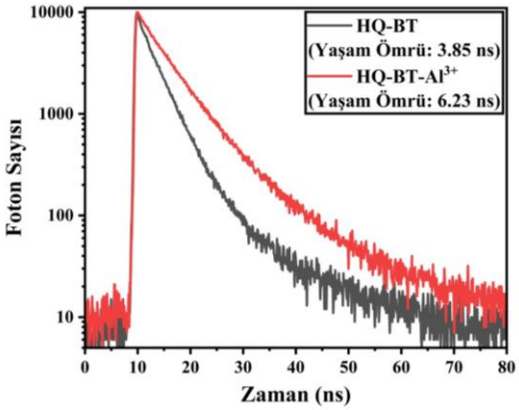
Şekil 3. a) HQ-BT'nin farklı konsantrasyonlarda Al^{3+} varlığında fluoresans titrasyon grafiği (λ_{ex}: 380 nm; Ex-Slit: 2, Em-Slit: 2; λ_{em}: 532 nm) b) HQ-BT-Al^{3+} kompleksinin JOB Plot's Grafiği.

(Şekil 3a). Titrasyon grafiğinden de görüldüğü gibi belli bir konsantrasyonda (10 eşdeğer) Al^{3+} ilavesi sonucu kompleksleşmenin doyuma ulaştığı görülmektedir. Bu noktadan sonra ilave edilen Al^{3+} metali HQ-BT bileşiğinin emisyon yoğunluğunda ciddi bir değişime neden olmadığı görülmektedir. HQ-BT ile Al^{3+} arasındaki kompleksleşme oranının ne olduğunu belirlemek için fluoresans titrasyon verileri kullanılmış ve Sürekli Değiştirme Metodu (JOB Metodu) ile gerçekleştirilmiştir. JOB yöntemine göre grafiğin tepe noktası 0,33 değerine karşılık gelmesi L-M (1:2), 0,5 değeri L-M (1:1), 0,66 değeri ise L-M (2:1) kompleksleşmeyi göstermektedir. Çalışmanın JOB grafiğinden de görüldüğü gibi HQ-BT-Al^{3+} arasındaki kompleksleşmenin (1:1) olduğu görülmektedir (Şekil 3b). Yine fluoresans titrasyon verileri kullanılarak HQ-BT ile Al^{3+} metal iyonunun bağlanma sabiti Benesi-Hildebrand eşitliği kullanılarak hesaplanmış ve bağlanma sabiti Ka değeri 1.99 x 10^4 M^{-2} olarak bulunmuştur (Şekil 4a). Ayrıca HQ-BT' nin Al^{3+} metal iyonlarını tespit limiti (LOD) 3s/k eşitliği kullanılarak hesaplamıştır. Bu eşitlikte s: standart sapma, k: fluoresans titrasyon grafiğinin eğimini ifade etmektedir. Yapılan hesaplamalar sonucunda HQ-BT' nin Al^{3+} iyonlarını tespit limiti (LOD) 2.91 µM olarak bulunmuştur (Şekil 4b). Dünya sağlık örgütüne (WHO) göre içme sularında Al^{3+} iyon konsantrasyonunun maksimum 7.41 µM olması gerekmektedir (Carlos *et al.* 2020, Boonkitpatarakul *et al.* 2016). Sentezlenen yeni fluoresans sensör HQ-BT WHO'nun kabul ettiği konsantrasyonların çok daha altında olan konsantrasyonlardaki Al^{3+} iyonlarını dahi tespit edebilme özelliğine sahiptir.



Şekil 4. a) HQ-BT-Al^{3+} (1:1) kompleksine ait Benesi-Hildebrand grafiği b) Farklı konsantrasyonlarda Al^{3+} metaline karşı 532 nm' de HQ-BT' nin fluoresans emisyon şiddet grafiği.

Tüm bu çalışmalar ek olarak fluoresans sensör bileşikleri için çok önemli olan yaşam ömrü (Lifetime) çalışması gerçekleştirilmiştir. Şekil 5' de görüldüğü gibi hem HQ-BT bileşiğinin hem de HQ-BT-Al^{3+} kompleksinin yaşam ömrü grafiği birlikte verilmiştir. Buradaki veriler ışığında HQ-BT için yaşam ömrü 3.85 ns, HQ-BT-Al^{3+} için yaşam ömrü ise 6.23 ns olarak hesaplanmıştır. Buna göre HQ-BT-Al^{3+} kompleksinin daha kararlı bir yapıda olduğunu göstermektedir.



Şekil 5. HQ-BT ve HQ-BT-Al^{3+} nın Yaşam Ömrü (Lifetime) grafiği

4. Sonuçlar ve Tartışma

Sonuç olarak bu çalışmada yeni bir florimetrik sensör (HQ-BT) bileşiğinin sentezi kolay ve basit bir şekilde başarıyla gerçekleştirilmiş ve yapısı karakterize edilmiştir. ^{1}H-NMR spektrumları incelemesi sonucu HQA bileşiğinde gözlenen 10.14 ppm' deki aldehit piki HQ-BT bileşiğinin ^{1}H-NMR spektrumunda gözlenmemiştir. Aldehit pikinin yerine 8.64 ppm' de Schiff bazı pikinin varlığı da HQ-BT bileşiğinin başarılı şekilde sentezlendiğinin kanıtıdır. Sentez aşamasının kolaylığı ve hızla elde edilebilmesi başlı başına bir avantaj sağlamaktadır. Özellikle birçok katyonun içerisinde sadece Al^{3+} metaline karşı ciddi bir emisyon artışı (yaklaşık 100 kat) göstermiştir. Ayrıca HQ-BT Schiff bazının Al^{3+} metal iyonları için çok düşük bir fluoresans tespit limitine (2.91 µM) sahip olması da oldukça önemlidir. Çalışmada çözelti ortamı olarak DMSO/H_2O (v/v 3/7) karışımın kullanılması HQ-BT fluoresans sensörün farklı ortamlarda (su, gıda, hücre vb.) bulunabilecek Al^{3+} metal iyonlarını tespit etmekte geleneksel yöntemlere nazaran daha fazlaca tercih edilmesine neden olacaktır. Son olarak bu çalışma sonuçlarının diğer bilim dallarındaki (mühendislik, tıp vb.) araştırmacılar tarafından farklı uygulamalarda kullanılmasına öncülük edebilecektir.

Etik Standartlar Beyanı

Yazarlar tüm etik standartlara uyduklarını beyan ederler.

Yazarlık Katkı Beyanı

Yazar 1: Kaynaklar, Araştırma, Deney, Yazma – orijinal taslak Görselleştirme, Yazma – orijinal taslak

Çıkar Çatışması Beyanı

Yazarların bu makalenin içeriğiyle ilgili olarak beyan edecekleri hiçbir çıkar çatışması yoktur.

Verilerin Kullanılabilirliği

Bu çalışma sırasında oluşturulan veya analiz edilen tüm veriler, yayınlanan bu makaleye dahil edilmiştir.

Teşekkür

Bu çalışmayı destekleyen Niğde Ömer Halisdemir Üniversitesi' ne teşekkür ederim.

5. Kaynaklar

AL-Saeedi, A., Aydin, D., & Alici, O. (2023). "Lighting up" fluorescence precise recognition of Al^{3+} with an effective fluorescence detection using a Bisphenol A-based sensor. *Spectrochimica Acta Part A: Molecular and Biomolecular Spectroscopy,* **294**, 122532. https://doi.org/10.1016/j.saa.2023.122532.

Anand, T., Ashok Kumar, S., & Sahoo, S. K. (2018). A new Al^{3+} selective fluorescent turn-on sensor based on hydrazide-naphthalic anhydride conjugate and its application in live cells imaging. *Spectrochimica Acta Part A: Molecular and Biomolecular Spectroscopy,* **204**, 105-112. https://doi.org/10.1016/j.saa.2018.06.033.

Baral, M., Sahoo, S., & Kanungo, B. (2008). Tripodal amine catechol ligands: A fascinating class of chelators for aluminium(III). *Journal of Inorganic Biochemistry,* **120** (8), 1581-1588. https://doi.org/10.1016/j.jinorgbio.2008.02.006.

Bhardwaj, V., Bothra, S., Upadhyay, Y., & Sahoo, S. (2021). Cascade Detection of Pyridoxal 5'-Phosphate and Al^{3+} Ions Based on Dual-Functionalized Red-Emitting Copper Nanoclusters. *ACS Appl. Nano Mater.,* **4** (6), 6231–6238. https://doi.org/10.1021/acsanm.1c01019.

Bissell, R., Silva, A., Gunaratne, H., Lynch, P., Maguire, G., & Sandanayake, K. (1992). Molecular fluorescent signalling with 'fluor–spacer–receptor' systems: approaches to sensing and switching devices via supramolecular photophysics. *Chem. Soc. Rev.,* **21**, 187-195. https://doi.org/10.1039/CS9922100187.

Boonkitpatarakul, K., Wang, J., Niamnont, N., Liu, B., Mcdonald, L., Pang, Y., & Sukwattanasinitt, M. (2016). Novel Turn-On Fluorescent Sensors with Mega Stokes Shifts for Dual Detection of Al^{3+} and Zn^{2+}. *ACS Sensors,* **1**, 144-150, https:// doi.org/10.1021/acssensors.5b00136.

Carlos, F., Monteiro, R., Silva, L., Zanlorenzi, C., & Nunes, F. (2020). A highly selective acridine-based fluorescent probe for detection of Al^{3+} in alcoholic beverage samples. *Spectrochim. Acta - Part A Mol. Biomol. Spectrosc.,* **231**, 118119.

https://doi.org/10.1016/j.saa.2020.118119.

Chen, Y., Wei, T., Zhang, Z., Chen, T., Li, J., Qiang, J., . . . Chen, X. (2017). A Benzothiazole-Based Fluorescent Probe for Ratiometric Detection of Al^{3+} in Aqueous Medium and Living Cells. *nd. Eng. Chem. Res.,* **56** (43), 12267–12275. https://doi.org/10.1021/acs.iecr.7b02979.

Das, S., Dutta, M., & Das , D. (2013). Fluorescent probes for selective determination of trace level Al^{3+}: recent developments and future prospects. *Anal. Methods,* **5**, 6262-6285. https://doi.org/10.1039/C3AY40982A.

Erdemir, S., Malkondu, S., & Kararkurt, S. (2020). Synthesis and cell imaging studies of an unusual "OFF–ON" fluorescent sensor containing a triazole unit for Al^{3+} detection via selective imine hydrolysis. *Analyst,* **145**, 3725-3731. https://doi.org/10.1039/C9AN02500F.

Exley, C. (2013). Human exposure to aluminium. *Environ. Sci.: Processes Impacts,* **15**, 1807-1816. https://doi.org/10.1039/C3EM00374D.

Gupta, A., & Kumar, N. (2016). A review of mechanisms for fluorescent "turn-on" probes to detect Al^{3+} ions. *RSC Adv.,* **6**, 106413–106434. https://doi.org/10.1039/c6ra23682k.

Jali, B., & Baruah, J. (2014). Fluorescence properties, aluminium ion selective emission changes and self-assemblies of positional isomers of 4-(hydroxyphenylthio)naphthalene-1,2-diones. *Dyes and Pigments,* **110**, 56-66. https://doi.org/10.1016/j.dyepig.2014.05.023.

Jeong, Y., & Yoon, J. (2012). Recent progress on fluorescent chemosensors for metal ions. *Inorganica Chimica Acta,* **381**, 2-14. https://doi.org/10.1016/j.ica.2011.09.011.

Kang, L., Xing, Z.-Y., Ma, X.-Y., Liu, Y.-T., & Zhang, Y. (2016). A highly selective colorimetric and fluorescent turn-on chemosensor for Al^{3+} based on naphthalimide derivative. *Spectrochimica Acta Part A: Molecular and Biomolecular Spectroscopy,* **167**, 59-65. https://doi.org/10.1016/j.saa.2016.05.030.

Khan, S., Chen, X., Almahri, A., Allehyani, E., Alhumaydhi, F., Ibrahim, M., & Ali, S. (2021). Recent developments in fluorescent and colorimetric chemosensors based on schiff bases for metallic cations detection: A review. *J. Environ. Chem. Eng.*, **9**, 106381. https://doi.org/10.1016/j.jece.2021.106381.

Kim, S., Noh, J., Kim, K., Kim, J., Kang, H., Nam, S., . . . Kim, J. (2012). Salicylimine-based fluorescent chemosensor for aluminum ions and application to bioimaging. *Inorg. Chem.*, **51**, 3597–3602. https://doi.org/10.1021/ic2024583.

Krewski, D., Yokel, R., Nieboer, E., Borchelt, D., Cohen, J., Harry, J., . . . Ron, V. (2007). Human Health Risk Assessment for Aluminium, Aluminium Oxide, and Aluminium Hydroxide. *Journal of Toxicology and Environmental Health, Part B Critical Reviews,* **10** (1), 1-269. https://doi.org/10.1080/10937400701597766.

Li, R.-Y., Wei, Z.-L., Wang, L., Zhang, Y., & Ru, J.-X. (2021). A new salamo-based fluorescence probe to visually detect aluminum(III) ion and bio-imaging in zebrafish. *Microchemical Journal,* **162**, 105720. https://doi.org/10.1016/j.microc.2020.105720.

Liang, C., Bu, W., Li, C., Men, G., Deng, M., Jiangyao, Y., . . . Jiang, S. (2015). A highly selective fluorescent sensor for Al^{3+} and the use of the resulting complex as a secondary sensor for PPi in aqueous media: its applicability in live cell imaging. *Dalton Trans.,* **44**, 11352-11359. https://doi.org/10.1039/C5DT00689A.

Liu, B., Wang, P., Chai, J., Hu, X., Gao, T., Chao, J., . . . Yang, B. (2016). Naphthol-based fluorescent sensors for aluminium ion and application to bioimaging. *Spectrochim. Acta - Part A Mol. Biomol. Spectrosc.*, **168**, 98–103. https://doi.org/10.1016/j.saa.2016.06.002.

Mohanty, P., Behura, R., Bhardwaj, V., Dash, P., Sahoo, S., & Jali, B. (2022). Recent advancement on chromo-fluorogenic sensing of aluminum(III) with Schiff bases. *Trends Environ. Anal. Chem.*, **34**, e00166. https://doi.org/10.1016/j.teac.2022.e00166.

Peng, S., Wang, H., Ding, H., Fan, C., Liu, G., & Pu, S. (2022). A high selective chemosensor for detection of Al^{3+} based on diarylethene with a hydrazide unit. *Journal of Photochemistry and Photobiology A: Chemistry,* **425**, 113718. https://doi.org/10.1016/j.jphotochem.2021.113718

Pu, S., Zhang, C., Fan, C., & Liu, G. (2016). Multi-controllable properties of an antipyrine-based diarylethene and its high selectivity for recognition of Al^{3+}. *Dye. Pigment.,* **129**, 24–33. https://doi.org/10.1016/j.dyepig.2016.02.001.

Roy, A., Nandi, M., & Roy, P. (2021). Dual chemosensors for metal ions: A comprehensive review. *TrAC Trends in Analytical Chemistry,* **138**, 116204. https://doi.org/10.1016/j.trac.2021.116204.

Sahana, A., Banerjee, A., Lohar, S., Banik, A., Mukhopadhyay, S., Safin, D., . . . Das, D. (2013). FRET based tri-color emissive rhodamine–pyrene conjugate as an Al^{3+} selective colorimetric and fluorescence sensor for living cell imaging. *Dalton Trans.,* **42**, 13311-13314. https://doi.org/10.1039/C3DT51752G.

Sidqi, M., Abdel Aziz, A., Abolehasan, A., & Sayed, M. (2022). Photochemical processing potential of a novel Schiff base as a fluorescent probe for selective

monitoring of Al^{3+} ions and bioimaging in human cervical cancer HeLa cells. *Journal of Photochemistry and Photobiology A: Chemistry,* **424**, 113616. https://doi.org/10.1016/j.jphotochem.2021.11361.

Silva, A., Gunaratne, H., Gunnlaugsson, T., Huxley, A., McCoy, C., Rademacher, J., & Rice, T. (1997). Signaling Recognition Events with Fluorescent Sensors and Switches. *Chem. Rev.,* **5**, 1515–1566. https://doi.org/10.1021/cr960386p.

Xing, Z., Wang, J., Huang, J., Chen, X., Zong, Z., Fan, C., & Huang, G. (2022). A Significant Fluorescence Turn-On Probe for the Recognition of Al^{3+} and Its Application. *Molecules,* **27**, 2569. https://doi.org/10.3390/molecules27082569.

Zeng, H.-P., OuYang, X.-H., Wang, T.-T., Yuan, G.-Z., Zhang, G.-H., & Zhang, X.-M. (2006). Synthesis, Crystal Structure, and Prediction of Hole Mobilities of 2,7'-Ethylenebis(8-hydroxyquinoline). *Crystal Growth & Design,* **6** (7), 1697-1702. https://doi.org/10.1021/cg060197s.