

Laccase Enzyme for the Treatment of Wastewater CAS 80498-15-3: Atık Suda Fenol, Boya ve Aromatik Kirleticilerin Oksidatif Arıtımı

Enzymes.bio Araştırma Ekibi · Wellington, Yeni Zelanda · June 21, 2026

Laccase Enzyme for the Treatment of Wastewater CAS 80498-15-3, fenolik bileşikler, tekstil boyaları ve bazı aromatik mikrokirleticilerin oksidatif dönüşümünde kullanılan bir lakkaz enzim preparatıdır. Lakkaz, hedef molekülden elektron alıp moleküler oksijeni suya indirger; bu sırada fenolik yapılar radikal ara ürünlere, boyalar ise renk veren bağları değişmiş veya parçalanmış yapılara dönüşebilir ^[1]. Enzymes.bio bu üründe üretici veya laboratuvar değil, çevrim içi doğrudan satış yapan bir B2B tedarikçidir; ürün 1 kg birimler halinde satın alınır ve CoA ile SDS siparişe birlikte sağlanır .

Lakkaz enzimi atık su arıtımında ne işe yarar?

Lakkaz, atık su arıtımında özellikle “renk”, “fenolik toksisite” ve “oksidasyona duyarlı aromatik kirleticiler” gibi hedefli problemlerde değerlendirilen oksidatif bir biyokatalizördür. Literatürde lakkaz araştırmaları kırk yılı aşkın süredir atık su arıtımı, boya giderimi, fenolik bileşiklerin dönüşümü ve biyoremediasyon başlıklarında yoğunlaşmıştır; 2022 tarihli bibliyometrik analiz de bu alanın uzun süreli ve büyüyen bir araştırma konusu olduğunu göstermektedir ^[2].

Atık su uygulamalarında lakkazın temel değeri, tüm kirlilik yükünü tek başına ortadan kaldırmasından değil, belirli kimyasal yapılara seçici oksidatif müdahale edebilmesinden gelir. Bu nedenle lakkaz; tekstil atık sularında renk giderimi, kağıt endüstrisi atık sularında lignin türevi fenolik yüklerin azaltılması, fenol veya klorofenol benzeri bileşiklerin dönüşümü ve bazı farmasötik kalıntıların giderimi için tamamlayıcı bir proses adımı olarak incelenmiştir ^[3].

CAS 80498-15-3 ile tanımlanan lakkaz enzimi, “wastewater treatment” ve çevresel uygulamalar bağlamında profesyonel kullanıma yönelik bir enzim girdisi olarak değerlendirilmelidir. Enzymes.bio tarafından sunulan ürün, 1 kg birimler halinde çevrim içi doğrudan satın alınabilen bir B2B tedarik ürünüdür; ürünle ilgili Analiz Sertifikası ve Güvenlik Bilgi Formu siparişe birlikte sağlanır .

Lakkazın reaksiyon mekanizması: oksijenle çalışan hedefli oksidasyon

Lakkazın mekanizması, pratik olarak “kirleticiden elektron alma ve oksijeni suya indirgeme” şeklinde açıklanabilir. Enzim, fenolik veya uygun aromatik substrattan elektron çeker; substrat fenoksi radikali veya benzeri reaktif ara ürünlere dönüşürken, elektronlar moleküler oksijene aktarılır ve oksijen suya indirgenir [1].

Bu reaksiyonun atık su açısından kritik sonucu, hedef molekülün yalnızca “oksitlenmiş” hâle gelmesi değil, kimyasal davranışının değişmesidir. Fenolik bileşikler lakkaz etkisiyle radikal ara ürünlere dönüşebilir; bu radikaller birbirleriyle eşleşerek daha büyük, daha az çözünür oligomer veya polimer yapılar oluşturabilir ve böylece sonraki ayırım adımları için daha uygun hâle gelebilir [4].

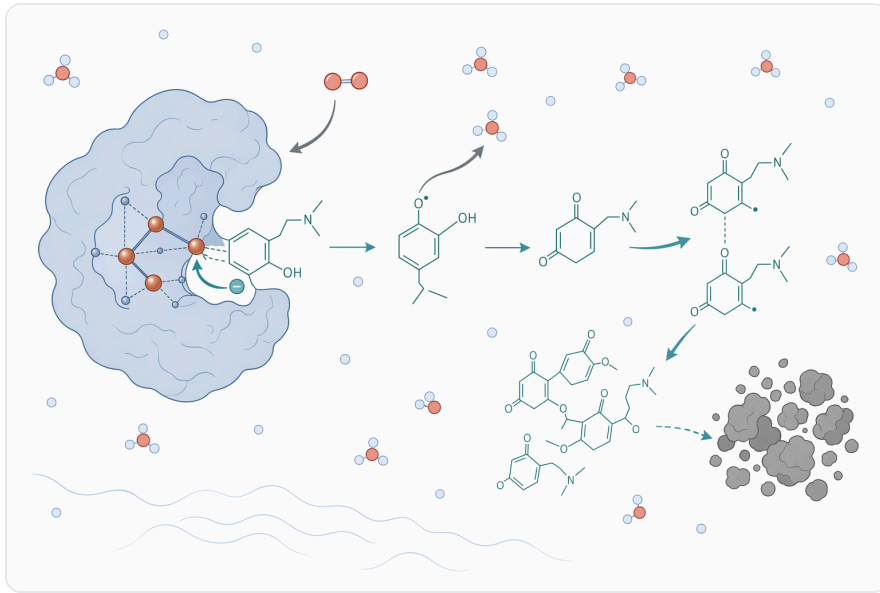


Figure 1. 라카아제는 산소를 물로 환원시키는 동시에 페놀성 오염물질과 염료 오염물질을 산화하며, 이 과정에서 종종 라디칼이 형성되어 서로 결합해 용해도가 낮은 생성물을 만듭니다.

Boyalarda etki genellikle renk veren kromofor sistemlerin bozulması, oksidatif kopma, bağ düzeninin değişmesi veya boyanın daha az renkli ürünlere dönüşmesiyle ilişkilidir. *Pseudomonas putida* kaynaklı lakkazın sentetik boyalar ve endüstriyel atık suların biyoremediasyonunda incelendiği çalışma, lakkazın yalnızca saf model substratlarda değil, daha karmaşık renkli atık su bağlamında da araştırıldığını göstermektedir [5].

Bazı kirleticiler lakkaz tarafından doğrudan yeterli hızda oksitlenmeyebilir. Bu durumda ABTS gibi mediatörler, elektron taşıyan ara bileşikler olarak devreye girerek enzimin etkisini daha uzak veya daha zor oksitlenen substratlara aktarabilir; katekol polimerizasyonunun *Trametes versicolor* lakkazı ve

ABTS varlığında elektrokimyasal olarak incelendiği çalışma, mediatörlü sistemlerin reaksiyon yolunu değiştirebildiğini göstermektedir [4].

Hangi atık su kirleticilerinde daha anlamlıdır?

Lakkazın en güçlü uygulama alanları, kimyasal olarak oksidasyona yatkın yapılar içeren atık sulardır. Fenoller, klorofenoller, polifenoller, aromatik aminler, bazı azo veya antrakinon boyalar, lignin türevleri ve belirli mikrokirleticiler bu kapsamda değerlendirilir; ancak performans bileşiğinin yapısına ve atık su matrisine bağlıdır [6].

Tekstil boyaları ve renk giderimi

Tekstil atık sularında renk, düşük boya konsantrasyonlarında bile görünür ve regülasyon açısından zorlayıcı bir parametre olabilir. Lakkazın tekstil boyaları için ilgi çekici olmasının nedeni, boya molekülündeki elektronca zengin aromatik bölgeleri veya kromofor sistemleri oksidatif olarak değiştirebilmesi ve böylece dekolorizasyon sağlayabilmesidir [7].

Boya gideriminde hem serbest hem immobilize lakkaz sistemleri araştırılmıştır. *Bacillus amyloliquefaciens* spor lakkazının tekstil boyalarının biyolojik renk giderimi için immobilizasyonunun incelendiği 2024 tarihli çalışma, immobilizasyonun sulu ortamda boya dekolorizasyonu için stabil ve tekrar kullanılabilir biyokatalizör geliştirme amacıyla kullanıldığını göstermektedir [8].

Lakkazla tekstil boyası gideriminde dikkat edilmesi gereken nokta, “renk azalması” ile “tam mineralizasyon”un aynı şey olmamasıdır. Renk veren bağların değişmesi görsel dekolorizasyon sağlayabilir; ancak toksisite, kimyasal oksijen ihtiyacı veya dönüşüm ürünleri ayrı proses değerlendirmeleri gerektirebilir, bu nedenle literatürde dekolorizasyon ve detoksifikasyon birlikte ele alınmaktadır [9].

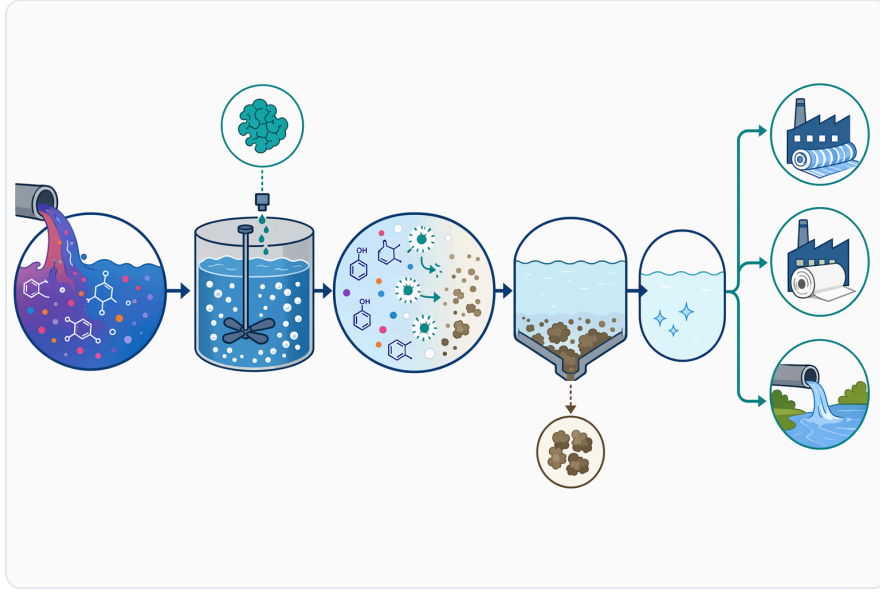


Figure 2. 일반적인 라카아제 폐수 처리 공정에서는 색도와 산화 가능한 유기 오염물질을 줄이기 위해 효소와 폭기를 투입한 뒤 침전·정화 단계를 거칩니다.

Fenolik bileşikler ve klorofenoller

Fenolik bileşikler; boya, reçine, petrokimya, kağıt, gıda işleme ve biyorefineri kaynaklı atık sularda görülebilir. Lakkazın fenolik substratlara yönelik temel reaksiyonu, fenolik hidroksil grubu çevresinde elektron transferi ve radikal oluşumdur; bu da fenolün daha büyük eşleşme ürünlerine veya farklı oksidasyon ürünlerine dönüşmesini mümkün kılar [6].

Klorofenoller gibi halojenli fenolik bileşikler daha dirençli olabilir, ancak lakkaz temelli çalışmalar bu alanda da yürütülmüştür. 2,4-diklorofenolün immobilize denizel halofilik *Bacillus subtilis* kültürü ve lakkaz enzimi ile biyodönüşümünü inceleyen çalışma, lakkazın klorofenol içeren atık su senaryolarında da araştırıldığını göstermektedir [10].

Fenolik atık sularda tuzluluk, çözünmüş organik madde, yüzey aktifler ve yan ürünler lakkaz performansını etkileyebilir. Fenolik atık suyun enzimatik arıtımında salinite ve biosürfaktan eklenmesinin etkilerini inceleyen çalışma, yalnızca hedef fenolün değil, matris koşullarının da proses sonucunu değiştirdiğini vurgular [11].

Kağıt endüstrisi atık suları ve lignin türevleri

Kağıt ve selüloz endüstrisi atık suları, lignin türevleri, renkli fenolik bileşikler ve oksidasyona duyarlı aromatik yapılar içerebilir. Serbest ve immobilize biyokatalizörlerin kağıt endüstrisi atık sularının arıtımı için araştırıldığı 2024 tarihli çalışma, lakkaz ve benzeri oksidatif biyokatalizörlerin bu alanda proses iyileştirme amacıyla değerlendirildiğini göstermektedir [12].

Lignin parçalanma ara ürünleri lakkaz uygulamalarında yalnızca hedef substrat değildir; bazı durumlarda enzimi inhibe eden bileşikler olarak da davranabilir. Lignin bozunma ara ürünlerinin lakkaz üzerinde rekabetçi inhibisyon gösterebildiğini bildiren çalışma, lignoselülozik veya kağıt kaynaklı matrislerde performansın yalnızca enzim dozuna değil, inhibitör yüküne de bağlı olabileceğini ortaya koymaktadır [13].

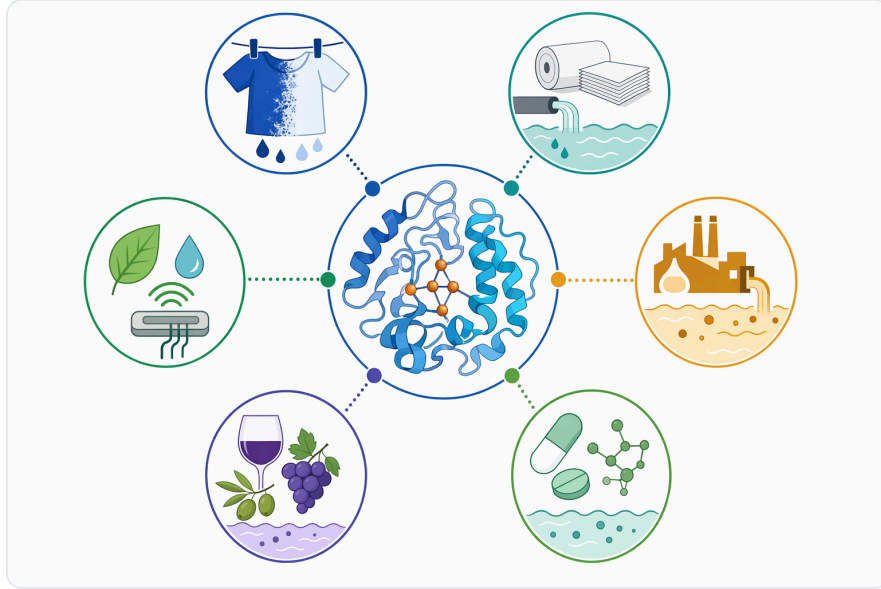


Figure 3. 폐수 처리용 라카아제는 염료, 제지, 페놀성 물질, 농산업 폐수 및 미량 유기 오염물질 처리 등 다양한 분야에 사용됩니다.

Farmasötikler, antibiyotikler ve iz organik kirleticiler

Lakkaz, belediye atık sularında veya endüstriyel deşarjlarda iz düzeyde bulunabilen bazı farmasötiklerin ve antibiyotiklerin dönüşümü için de araştırılmıştır. Trametes versicolor lakkazının çapraz bağlı enzim agregatları hâlinde iz organik kirleticilerin belediye atık suyundan giderimi için incelendiği çalışma, immobilize lakkaz yaklaşımlarının mikrokirletici arıtımında da gündemde olduğunu göstermektedir [14].

Sulfametoksazol gibi antibiyotiklerin gideriminde lakkazın doğrudan veya doğal fenoller varlığında polimerleşme yoluyla etkili olabileceği gösterilmiştir. Kovalent organik çerçeve içinde in-situ immobilize lakkaz kullanılarak sulfametoksazolün doğal fenoller varlığında kovalent polimerizasyonla uzaklaştırılmasını inceleyen çalışma, bazı antibiyotiklerde giderimin yalnızca parçalanma değil, polimerik ürünlere bağlanma üzerinden de gerçekleşebileceğini göstermektedir [15].

Bu uygulama alanında genelleme yapmak risklidir; çünkü farmasötiklerin aromatik yapısı, elektron yoğunluğu, fonksiyonel grupları ve mediatör gereksinimi birbirinden farklıdır. Bu nedenle lakkaz, tüm farmasötik sınıfları için eşit performanslı bir çözüm olarak değil, belirli hedef bileşiklere göre

değerlendirilen bir oksidatif biyokatalizör olarak ele alınmalıdır [3].

Serbest lakkaz ve immobilize lakkaz: proses açısından farklar

Serbest lakkaz, reaksiyon ortamına doğrudan verilen ve hedef kirleticilerle homojen temas eden en basit uygulama biçimidir. Bu yaklaşım, proses kurgusunu sadeleştirir; ancak enzim çözeltide kaldığı için geri kazanım, tekrar kullanım ve uzun temas sürelerinde stabilite gibi konular sınırlayıcı olabilir [16].

İmmobilize lakkazda enzim; alginat boncuk, manyetik nanoparçacık, membran, organik çerçeve veya mineral taşıyıcı gibi bir yüzeye veya yapıya bağlanır. Amaç, enzimi reaktör içinde tutmak, tekrar kullanıma olanak vermek, pH ve sıcaklık dalgalanmalarına karşı dayanıklılığı artırmak ve sürekli akışlı sistemlere uyumu kolaylaştırmaktır [17].

Lakkaz immobilizasyonunun özellikle boya giderimi ve mikrokirletici arıtımında yoğun şekilde araştırılmasının nedeni, enzim maliyetini tek kullanımlık bir sarf malzeme gibi ele almaktan uzaklaşma isteğidir. LDH/alginat kompozit boncuklar üzerinde *Trametes versicolor* lakkaz immobilizasyonunu inceleyen çalışma, tekstil boyalarının renk gideriminde taşıyıcı tabanlı sistemlerin proses performansını iyileştirme amacıyla geliştirildiğini göstermektedir [18].



Figure 4. 더 강한 화학적 산화나 응집 처리와 비교할 때, 라카아제 처리는 보다 온화한 조건에서 작동할 수 있으며 색을 유발하는 오염물질을 줄일 수 있습니다.

Uygulama yaklaşımı	Proses mantığı	Güçlü yönler	Sınırlamalar	Literatürde öne çıkan kullanım
Serbest lakkaz	Enzim doğrudan atık suyla temas eder	Basit dozlama, hızlı kurulum, homojen temas	Geri kazanım zordur; tek geçişli kullanıma yakın davranabilir	Boya ve fenol gideriminde ham veya kısmen saflaştırılmış lakkaz karşılaştırmaları [16]
Immobilize lakkaz	Enzim taşıyıcıya bağlanır veya yapı içinde tutulur	Tekrar kullanım, reaktörde tutma, stabilite artışı potansiyeli	Taşıyıcı seçimi ve kütle transferi performansı etkiler	Tekstil boya, fenolik kirleticiler ve iz organikler [8]
Mediatörlü lakkaz sistemi	Elektron taşıyan ara bileşik reaksiyonu genişletir	Zor oksitlenen substratlarda etki alanı artabilir	Ek bileşenlerin kaderi ve maliyeti değerlendirilmelidir	Katekol polimerizasyonu ve aromatik kirletici dönüşümleri [4]
Hibrit arıtım adımı	Lakkaz fiziksel, biyolojik veya membran adımıyla birlikte kullanılır	Hedefli arıtım, renk/fenol yükünde tamamlayıcı etki	Matris etkileri ve proses entegrasyonu belirleyicidir	Kağıt, tekstil ve endüstriyel atık su çalışmaları [12]

Atık su matrisinin lakkaz performansına etkisi

Lakkazın laboratuvar ölçekli sulu çözeltilerde gösterdiği performans, gerçek atık suya doğrudan taşınmayabilir. Gerçek matrislerde tuzlar, klorür, ağır metaller, yüzey aktif maddeler, lignin ara ürünleri, yüksek organik yük ve pH dalgalanmaları enzimin aktif bölgeye substrat erişimini, protein stabilitesini veya elektron transferini etkileyebilir [3].

Klorür, bazı lakkazlar için önemli bir inhibisyon kaynağı olarak rapor edilmiştir. Lakkazda klorür inhibisyonunun antrakinonik bir substratla azaltılmasını inceleyen çalışma, boyar madde veya yardımcı substrat yapısının yalnızca hedef kirletici değil, aynı zamanda inhibisyon davranışı üzerinde de etkili olabileceğini göstermektedir [19].

Tuz stresinin tekstil atık sularında pratik önemi yüksektir; çünkü boyama ve yıkama prosesleri önemli miktarda tuz içerebilir. *Trametes versicolor* lakkazı ile sentetik boyaların tuz stres koşullarında dekolizasyonu ve detoksifikasyonunu inceleyen çalışma, lakkaz uygulamalarında tuzluluğun yalnızca yardımcı bir parametre değil, doğrudan performans belirleyici bir değişken olduğunu ortaya koymaktadır [9].

Aynı şekilde, doğal fenoller veya lignin türevleri bazı mikrokirleticilerin uzaklaştırılmasına katkı sağlayabildiği gibi, bazı ara ürünler enzimle rekabet ederek reaksiyon hızını düşürebilir. Lignin bozunma ara ürünlerinin rekabetçi inhibisyon gösterebildiğini bildiren çalışma, “daha fazla fenolik madde her zaman daha iyi reaksiyon” şeklindeki basit varsayımın doğru olmadığını göstermektedir [13].

Lakkazın uygulama alanlarına göre kanıt düzeyi

Lakkaz için en güçlü kanıt alanlarından biri, tekstil boyalarının dekolorizasyonudur. Farklı mikroorganizma kaynaklı lakkazlar, serbest veya immobilize formlar ve çeşitli taşıyıcı sistemler boya giderimi için incelenmiş; 2024 tarihli rekombinant *Bacillus megaterium* lakkaz çalışması da tekstil boyası giderimini doğrudan atık su uygulaması olarak ele almıştır [7].

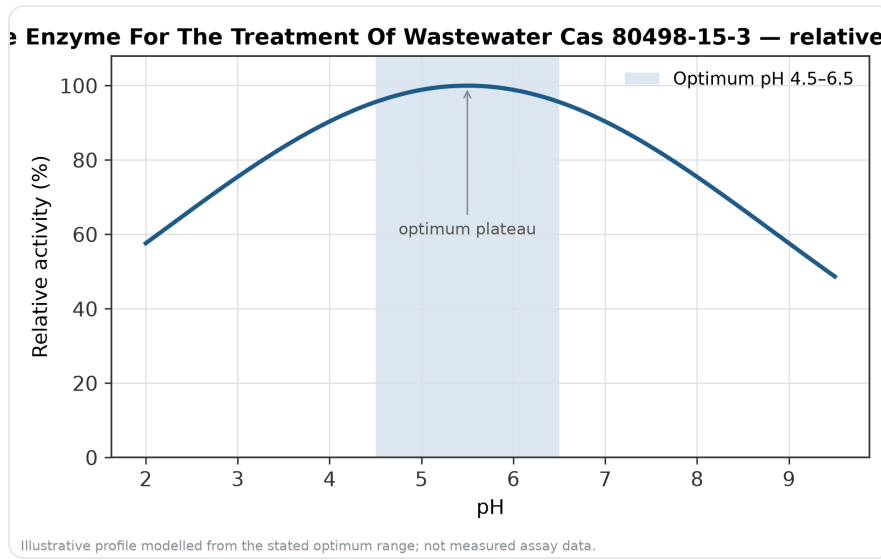


Figure 5. pH에 따른 Laccase Enzyme For The Treatment Of Wastewater CAS 80498-15-3의 상대 활성으로, pH 4.5~6.5에서 최적 활성 구간이 나타납니다.

Fenolik kirleticiler için kanıt düzeyi de güçlüdür; çünkü lakkazın temel mekanizması fenolik substratların oksidasyonuna doğrudan uygundur. Polifenol oksidazların fenolik kirleticiler içeren endüstriyel atık suların biyoremediasyonunda potansiyel kullanımını değerlendiren çalışma, bu enzim grubunun fenolik yük azaltımı açısından teknik olarak anlamlı olduğunu göstermektedir [6].

Kağıt endüstrisi ve lignoselülozik atık sular için kanıt, hedef bileşenlerin fenolik ve lignin ilişkili yapıları nedeniyle mantıklıdır; ancak matris karmaşıklığı performansın değişken olmasına yol açar. Kağıt endüstrisi atık sularında serbest ve immobilize biyokatalizörlerin araştırılması, bu alanda uygulama potansiyeli kadar proses tasarımının da belirleyici olduğunu göstermektedir [12].

Mikrokirletici ve farmasötik gideriminde kanıt daha seçicidir. Sulfametoksazol gibi bazı bileşiklerde lakkaz ve doğal fenollerle polimerizasyon giderimi rapor edilirken, tüm farmasötik kalıntılar için aynı reaktivite beklenmemelidir; hedef molekülün redoks özellikleri ve mediatör ihtiyacı önem taşır [15].

Proses entegrasyonu: lakkaz tek başına mı, yardımcı adım mı?

Endüstriyel atık su arıtımında lakkazın en gerçekçi rolü çoğu zaman bağımsız bir “tam arıtma sistemi” değil, hedefli bir oksidatif ön arıtım veya ileri arıtım adımıdır. Özellikle renk giderimi, fenolik toksisite azaltımı veya biyolojik arıtma öncesinde inhibitör aromatiklerin dönüştürülmesi gibi noktalarda tamamlayıcı değer sağlayabilir [3].

Lakkaz, biyolojik arıtma, adsorpsiyon, membran filtrasyonu, koagülasyon veya ileri oksidasyon gibi mevcut proseslerle birlikte düşünülebilir. Nanobubble su teknolojisi ve enzimlerle tekstil atık suyu arıtımını çevre dostu bir yaklaşım olarak ele alan çalışma, enzimlerin tek başına değil, fiziksel veya proses destekli yaklaşımlarla birlikte de değerlendirildiğini göstermektedir [20].

Yüzen yapay sulak alan gibi biyolojik tabanlı sistemler de tekstil atık suyu arıtımı için araştırılmıştır; bu tür çalışmalar, lakkazın daha geniş sürdürülebilir arıtım ekosisteminde tamamlayıcı bir biyokatalitik araç olarak konumlandırılabilirliğini düşündürür. Endüstriyel tekstil atık suyu için floating wetpark uygulamasını inceleyen çalışma, biyolojik ve ekolojik tasarımların renkli atık su yönetiminde alternatif oluşturduğunu göstermektedir [21].

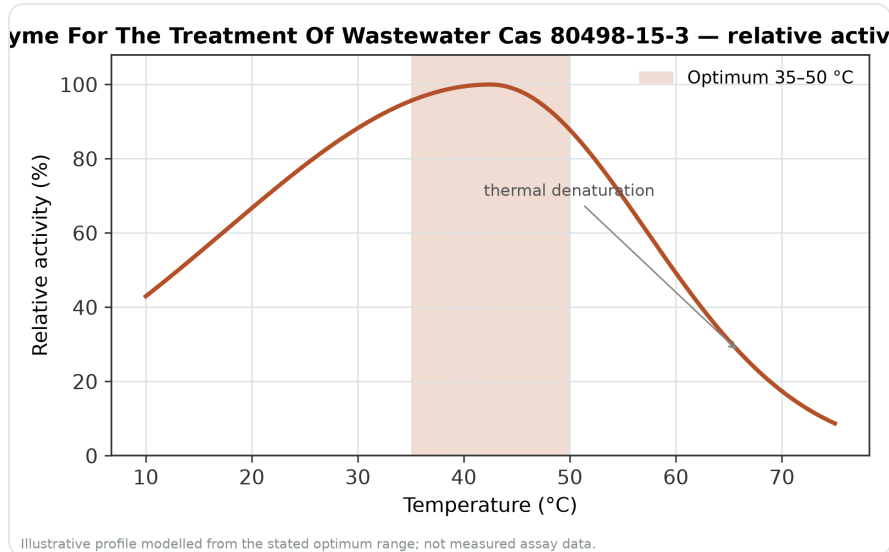


Figure 6. 온도에 따른 Laccase Enzyme For The Treatment Of Wastewater CAS 80498-15-3의 상대 활성으로, 35~50°C에서 최적 활성을 보이며 최적 온도 이상에서는 열 변성에 따른 특징적인 활성 감소가 나타납니다.

Lakkazla proses kurulumunda kritik teknik karar, hedef çıktının ne olduğudur: görsel renk azalması, fenolik bileşiklerin dönüşümü, toksisite düşüşü, biyolojik arıtılabilirlik artışı veya belirli bir mikrokirleticinin azaltılması farklı tasarım öncelikleri gerektirir. Lakkaz temelli atık su arıtımını sürdürülebilir yaklaşım açısından değerlendiren derleme, uygulama başarısının enzim seçimi kadar proses koşullarına da bağlı olduğunu vurgular ^[3].

B2B kullanımda pratik değer: nerede avantaj sağlar?

Lakkazın B2B kullanımdaki temel avantajı, hedefli oksidasyon yapabilmesidir. Fenolik veya aromatik kirleticinin tamamını yüksek doz kimyasal oksidanla işlemek yerine, uygun koşullarda enzimatik elektron transferinden yararlanmak daha seçici bir reaksiyon yolu sunabilir ^[1].

İkinci avantaj, reaksiyonun oksijeni elektron alıcısı olarak kullanmasıdır. Bu durum, lakkazı çevre uyumlu proses tasarımlarında ilgi çekici kılar; çünkü reaksiyonun indirgeyici tarafında temel ürün sudur ve sert oksidan kullanımına dayalı olmayan bir biyokatalitik yaklaşım sağlar ^[1].

Üçüncü avantaj, immobilizasyon ve reaktör tasarımıyla tekrar kullanım potansiyelidir. Manyetik nanoparçacıklar üzerinde immobilize lakkazla fenoller, boyalar ve atık su arıtımını inceleyen çalışma, taşıyıcı destekli sistemlerin biyokatalizörü proses içinde tutma ve geri kazanma amacıyla değerlendirildiğini göstermektedir ^[17].

Dördüncü avantaj, farklı sektörlerde hedefli kullanım alanı bulabilmesidir. Tekstil, kağıt, fenolik atık su, biyorefineri atık suyu ve belediye atık suyundaki iz organikler gibi alanlarda lakkaz temelli çalışmalar bulunması, enzimin tek bir endüstriye bağlı olmayan geniş bir uygulama potansiyeline sahip olduğunu gösterir ^[22].

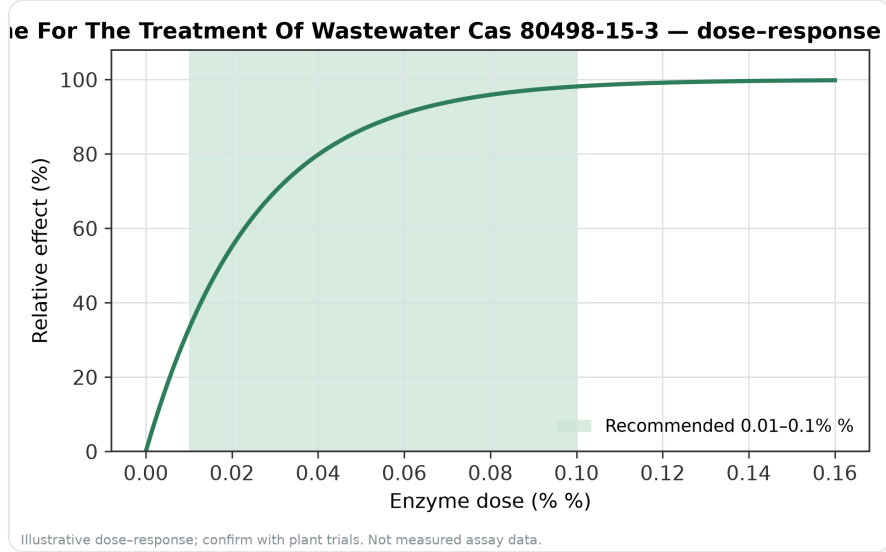


Figure 7. 권장 사용 범위(0.01~0.1%)에서 Laccase Enzyme For The Treatment Of Wastewater CAS 80498-15-3의 용량-반응 관계를 예시한 그래프입니다.

Sınırlar ve yanlış beklentiler

Lakkaz tüm organik kirleticileri aynı verimle gideren genel amaçlı bir arıtma kimyasalı değildir. Enzim, substratın oksidasyona yatkınlığına, pH ve sıcaklık gibi protein stabilitesini etkileyen koşullara, çözülmüş oksijen erişimine ve inhibitörlerin varlığına bağlı olarak çalışır [3].

Renk giderimi her zaman toksisite giderimi anlamına gelmez. Bazı boya molekülleri renklerini kaybederken ara ürünler oluşabilir; bu nedenle lakkaz uygulamalarında dekolorizasyonla birlikte detoksifikasyonun da incelendiği çalışmalar özellikle önemlidir [9].

İmmobilizasyon her durumda otomatik olarak daha yüksek performans sağlamaz. Taşıyıcı, gözenek yapısı, kütle transferi, enzimin bağlanma yönelimi ve hedef kirleticinin enzime erişimi sonuca etki eder; bu nedenle immobilize lakkaz çalışmaları genellikle stabilite ve tekrar kullanım avantajını, olası difüzyon sınırlamalarıyla birlikte ele alır [23].

Mediatör kullanımı da koşulsuz bir avantaj değildir. Mediatörler bazı dirençli kirleticilerin oksidasyonunu kolaylaştırabilir; ancak ek bileşenlerin maliyeti, kalıntı riski ve atık su içinde nasıl davrandığı proses tasarımında ayrıca değerlendirilmesi gereken unsurlardır [4].

Güvenlik, taşıma ve dokümantasyon

Lakkaz protein yapısında bir enzim preparatı olduğundan, endüstriyel kullanımda toz, aerosol veya doğrudan temas riskleri kontrol edilmelidir. Enzim preparatlarında genel iyi uygulama; göz, cilt ve solunum yolu maruziyetini azaltmak, dökülmeleri kontrol altında temizlemek ve SDS'de belirtilen

önlemleri izlemektir .

Bu ürün profesyonel B2B kullanım için konumlandırılmıştır; insan tüketimi veya ev tipi kullanım amacıyla ele alınmamalıdır. Enzymes.bio, ürün için üretici veya laboratuvar olarak değil, çevrim içi tedarikçi olarak hareket eder; ürün 1 kg birimler halinde doğrudan satın alınır ve CoA ile SDS siparişiyle birlikte sağlanır .

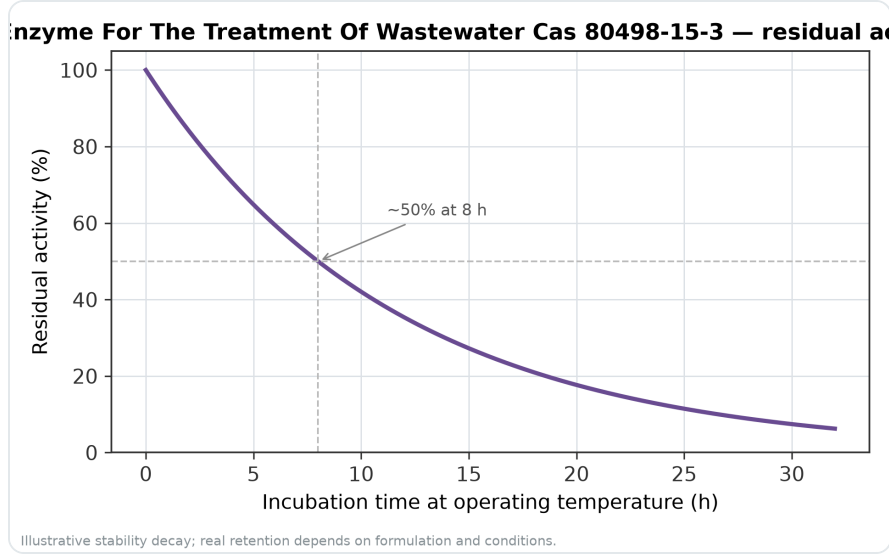


Figure 8. Laccase Enzyme For The Treatment Of Wastewater CAS 80498-15-3의 열 안정성 감소를 예시한 그래프로, 운전 온도에서 시간이 지남에 따라 잔존 활성이 감소하는 모습을 보여줍니다.

CoA, sipariş edilen ürün partisine ilişkin tedarik dokümantasyonudur; SDS ise taşıma, depolama, maruziyet kontrolü ve güvenli kullanım açısından temel referans belgedir. Bu doküman, ürünün atık su arıtımı bağlamındaki bilimsel ve teknik arka planını açıklar; saha performansı ise gerçek atık su karakteri ve proses tasarımına bağlıdır .

Sonuç: lakkazın atık su arıtımındaki en uygun rolü

Laccase Enzyme for the Treatment of Wastewater CAS 80498-15-3, fenolik bileşikler, tekstil boyaları, lignin ilişkili aromatikler ve seçilmiş mikrokirleticiler için oksidatif biyokataliz sağlayan teknik bir enzim girdisidir. Mekanizması; hedef molekülden elektron çekilmesi, oksijenin suya indirgenmesi ve kirleticinin radikal, polimerik veya yapısal olarak değişmiş ürünlere dönüşmesi üzerine kuruludur ^[1].

En güçlü uygulama zemini, tekstil boyalarında renk giderimi ve fenolik kirleticilerin dönüşümüdür; kağıt endüstrisi atık suları, biyorefineri kaynaklı fenolik yükler ve bazı farmasötikler ise daha hedefe bağlı değerlendirilmesi gereken alanlardır. Literatürde serbest lakkaz, immobilize lakkaz, mediatörlü

sistemler ve hibrit prosesler birlikte incelenmiş; bu da lakkazın tek bir kullanım biçimine indirgenemeyecek kadar esnek fakat koşula duyarlı bir biyokatalizör olduğunu göstermiştir [3].

Enzymes.bio üzerinden sunulan ürün, çevrim içi doğrudan satın alınabilen 1 kg birimli bir B2B lakkaz enzim preparatıdır. CoA ve SDS siparişe birlikte sağlanır; ürün, mevcut arıtma altyapısında renk, fenolik yük veya oksidasyona duyarlı aromatik kirleticiler için hedefli bir biyokatalitik adım olarak değerlendirilmelidir .

Laccase Enzyme For The Treatment Of Wastewater Cas 80498-15-3 ürününü online sipariş edin

1 kg birimler halinde satılır; stokta mevcut ve sevkiyata hazırdır. Mağazamızdan doğrudan sipariş verin — online ödeme yapın, siparişinizi işleme alalım. Her siparişe Analiz Sertifikası ve Güvenlik Bilgi Formu dahildir.

[Laccase Enzyme For The Treatment Of Wastewater Cas 80498-15-3 satın alın →](#)

Kaynaklar

İlk atf sırasına göre numaralandırılmıştır. Açık erişimli kaynaklardır; her birinin yayım sırasında erişilebilir olduğu doğrulanmıştır. Metindeki atf numaraları buraya bağlantı verir.

1. Mayer, A., & Staples, R. (2002). Laccase: new functions for an old enzyme.. *Phytochemistry*, 60 6, 551-65 .
2. Puspita, K., Chiari, W., Abdulmadjid, S. N., Idroes, R., & Iqhrammullah, M. (2022). Four Decades of Laccase Research for Wastewater Treatment: Insights from Bibliometric Analysis. *International Journal of Environmental Research and Public Health*, 20.
3. Sutaoney, P., Pandya, S., Gajarlwar, D., Joshi, V., & Ghosh, P. (2022). Feasibility and potential of laccase-based enzyme in wastewater treatment through sustainable approach: A review. *Environmental science and pollution research international*, 29, 86499 - 86527.
4. Saha, R., & Mukhopadhyay, M. (2021). Electrochemical analysis of Catechol polymerization in presence of Trametes versicolor laccase and the mediator ABTS. *Enzyme and Microbial Technology*, 152, 109934 .
5. Kuddus, M., Joseph, B., & Ramteke, P. (2013). Production of laccase from newly isolated Pseudomonas putida and its application in bioremediation of synthetic dyes and industrial effluents. *Biocatalysis and agricultural biotechnology*, 2, 333-338.
6. Mukherjee, S., Basak, B., Bhunia, B., Dey, A., & Mondal, B. (2013). Potential use of polyphenol oxidases (PPO) in the bioremediation of phenolic contaminants containing industrial wastewater. *Reviews in Environmental Science and Bio\technology*, 12, 61-73.

7. Mustafa, Z., Haq, I., Nawaz, A., Alessa, A. H., Aftab, M., Alsaigh, A. A., & Rehman, A. U. (2024). Laccase Production Optimization from Recombinant E. coli BL21 Codon Plus Containing Novel Laccase Gene from Bacillus megaterium for Removal of Wastewater Textile Dye. *Molecules*, 29.
8. El-Bendary, M., Ezzat, S., Ewais, E. A., & Al-Zalama, M. A. (2024). Efficient immobilization of highly stable Bacillus amyloliquefaciens spore laccase for biodecolorization of textile dyes in water. *Environmental Sciences Europe*, 36, 1-14.
9. Uber, T. M., Novi, D. M. P., Murase, L. Y., Cheute, V. M. S., Kagueyama, S. S., Contato, A., Peralta, R., ... et al. (2025). Decolorization and Detoxification of Synthetic Dyes by Trametes versicolor Laccase Under Salt Stress Conditions. *Reactions*.
10. Farag, A. M., El-Naggar, M. Y., & Ghanem, K. (2022). 2,4-Dichlorophenol biotransformation using immobilized marine halophilic Bacillus subtilis culture and laccase enzyme: application in wastewater treatment. *Journal of Genetic Engineering and Biotechnology*, 20.
11. Onaizi, S. (2021). Enzymatic Treatment of Phenolic Wastewater: Effects of Salinity and Biosurfactant Addition.
12. Tite, T. E., Ngema, P., & Makhathini, T. P. (2024). Exploration of Free and Immobilized Biocatalysts for the Treatment of Paper Industry Effluents. *Separation & Purification Reviews*, 54, 258 - 275.
13. Pamidipati, S., & Ahmed, A. (2019). A first report on competitive inhibition of laccase enzyme by lignin degradation intermediates. *Folia Microbiologica (Prague)*, 65, 431 - 437.
14. George, J., Rajendran, D., Venkataraman, S., Rathankumar, A., Saikia, K., Muthusamy, S., Singh, I., ... et al. (2022). Insolubilization of Trametes versicolor laccase as cross-linked enzyme aggregates for the remediation of trace organic contaminants from municipal wastewater. *Environmental Research*, 112882 .
15. Xu, J., Zhang, X., Zhou, Z., Ye, G., & Wu, D. (2023). Covalent organic framework in-situ immobilized laccase for the covalent polymerization removal of sulfamethoxazole in the presence of natural phenols: Prominent enzyme stability and activity. *Journal of Hazardous Materials*, 462, 132714 .
16. Wehaidy, H. R., El-hennawi, H., Ahmed, S. A., & Abdel-Naby, M. (2018). Comparative study on crude and partially purified laccase from Polyporus durus ATCC 26726 in the decolorization of textile dyes and wastewater treatment. *Egyptian Pharmaceutical Journal*, 17, 94 - 103.
17. Peñaranda, P. A., Noguera, M. J., Florez, S., Husserl, J., Ornelas-Soto, N., Cruz, J., & Osma, J. (2022). Treatment of Wastewater, Phenols and Dyes Using Novel Magnetic Torus Microreactors and Laccase Immobilized on Magnetite Nanoparticles. *Nanomaterials*, 12.
18. Nouaa, S., Aziam, R., Carja, G., Chiban, M., & Froidevaux, R. (2025). Immobilization of Trametes versicolor laccase on LDH/alginate composite beads for improved textile dyes decolorization. *International Journal of Biological Macromolecules*, 140577 .
19. Enaud, E., Trovaslet, M., Naveau, F., Decristoforo, A., Bizet, S., Vanhulle, S., & Jolival, C. (2011). Laccase chloride inhibition reduction by an anthraquinonic substrate. *Enzyme and Microbial Technology*, 49 6-7, 517-25 .
20. Anış, P., Toprak-çavdur, T., Şardağ, S., & İncekara, B. (2024). Environmentally Friendly Approach for Treatment Textile Wastewater by Nanobubble Water Technology and Enzymes. *TEKSTİL VE KONFEKSİYON*.
21. Kadam, S., Tamboli, A., Chandanshive, V., Govindwar, S., Choo, Y., & Pak, J. (2021). Construction and implementation of floating wetpark as effective constructed wetland for industrial textile wastewater treatment. *Journal of Hazardous Materials*, 127710 .

22. Kumar, V., Venkataraman, S., Kumar, P., George, J., Rajendran, D., Shaji, A., Lawrence, N., ... et al. (2022). Laccase production by Pleurotus ostreatus using cassava waste and its application in remediation of phenolic and polycyclic aromatic hydrocarbon-contaminated lignocellulosic biorefinery wastewater. *Environmental Pollution*, 119729 .
23. Zahirulain, A. S., Rahman, N. A., Zulkifli, N. F. S., Shayuti, M. S. M., Hashib, S. A., Pauzi, S. M., & Marpani, F. (2025). A Perspective of Laccase-Metal Organic Framework Biocomposites for Potential Bioremediation of Dyes. *E3S Web of Conferences*.

Enzymes.bio ile iletişime geçin


Siparişinizle ilgili sorularınız mı var? Ekibimiz yardımcı olmaktan memnuniyet duyar.


E-POSTA wholesale@enzymes.bio

TELEFON (ABD) **+1 (507) 428-6057**

[Bize ulaşın →](#)

 **400+** B2B müşteriler

 **60+** üniversite araştırma ortakları

 **54** dünya genelinde hizmet

© 2026 Enzymes.bio · Endüstriyel ve gıda işleme enzim tedariki · İnsan tüketimi veya perakende satış için değildir.