

Industrial Alkaline Xylanase ile Pulp & Paper Biyoağartma ve Kâğıt Hamuru İşleme

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

Industrial Alkaline Xylanase, kâğıt hamuru proseslerinde lif yüzeyindeki xylanı kısmen hidrolize ederek ağartma kimyasallarının lif matrisi içine daha etkili nüfuz etmesine yardımcı olan bir biyokatalitik ön işlem enzimidir. Bu uygulama, lignini doğrudan parçalayan bir ağartıcıdan ziyade, kraft ve benzeri hamurlarda ligninin sonraki ağartma aşamalarında daha kolay uzaklaştırılmasını destekleyen “bleach boosting” yaklaşımıdır ^[1]. Enzymes.bio bu ürünü üretici veya laboratuvar olarak değil, B2B tedarik platformu olarak 1 kg birimler halinde çevrim içi doğrudan siparişe sunar; CoA ve SDS siparişe birlikte sağlanır .

Kâğıt Hamurunda Xylanase Neden Kullanılır?

Xylanase, bitki hücre duvarında selülozla birlikte bulunan hemiselüloz fraksiyonundaki xylan zincirlerini hedefleyen bir enzim grubudur. Pulp & paper bağlamında xylanase'nin önemi, selüloz lifinin kendisini ana hedef yapmadan lif yüzeyindeki xylan tabakasını modifiye edebilmesinden gelir; bu etki özellikle ağartma öncesi hamurun kimyasal erişilebilirliğini artırmak için değerlendirilir ^[1].

Kraft pişirme gibi alkali proseslerde xylanın bir kısmı çözünür, fakat sonraki soğuma, yıkama ve pH değişimleri sırasında lif yüzeyine yeniden çökelmiş xylan katmanı oluşabilir. Bu katman, kalıntı lignin ve lignin-karbonhidrat ilişkili yapılarla birlikte ağartma kimyasallarının difüzyonunu sınırlayan bir ara faz gibi davranır; xylanase uygulaması bu fazı kontrollü biçimde gevşeterek ağartılabilirliği artırmayı hedefler ^[2].

“Alkaline xylanase” ifadesi, enzimin pulp & paper proseslerinde karşılaşılan nötrden alkaliye yakın koşullarda işlev gösterebilmesi açısından önemlidir. Literatürde termoalkalofilik bakterilerden elde edilen, alkali koşullara dayanıklı ve selülaz içermeyen xylanase'lerin kâğıt hamuru ağartma uygulamaları için uygun adaylar olarak değerlendirildiği bildirilmiştir ^[3].

Bu ürün kategorisinin pratik amacı, ağartma sekansını değiştirmekten çok mevcut sekansın verimini yükseltmektir. Enzimatik ön işlemden sonra kimyasal ağartma aşamaları devam eder; beklenen etki, aynı hedef parlaklık için daha düşük kimyasal yük, daha kontrollü kappa sayısı düşüşü veya prosesin

çevresel yükünde azalma gibi göstergelerde görülür ^[1].

Mekanizma: Xylan Bariyerinin Kısmi Hidrolizi

Industrial Alkaline Xylanase'nin pulp & paper uygulamasındaki temel mekanizması, xylanın ana zincirindeki bağların kısmi hidroliziyle daha kısa, çözünürlüğü artmış parçaların oluşmasıdır. Lif yüzeyindeki xylan azaldığında, ağartma kimyasallarının yalnızca dış yüzeyde tüketilmesi yerine lif duvarına ve kalıntı ligninin bulunduğu bölgelere daha etkin ulaşması mümkün olur ^[4].

Bu mekanizma doğrudan "lignin parçalama" olarak yorumlanmamalıdır. Xylanase'nin ana etkisi, ligninin çevresindeki hemiselüloz bariyerini zayıflatmak, xylan tarafından fiziksel olarak tutulan veya xylan-lignin etkileşimleriyle erişimi kısıtlanan bileşenlerin sonraki ekstraksiyonunu kolaylaştırmaktır ^[1].

Ağartma prosesinde gözlenen parlaklık artışı, kappa sayısındaki iyileşme veya kimyasal tasarruf, bu nedenle çoğu zaman enzim aşamasından hemen sonra değil, takip eden kimyasal ağartma basamaklarında belirginleşir. Bu durum xylanase uygulamasını tek başına bir ağartma işlemi olmaktan çıkarır ve onu ağartma sekansını güçlendiren biyolojik ön işlem haline getirir ^[2].

Kraft hamurlarında xylanın yeniden çökmesi, özellikle yüzey geçirgenliği ve kimyasal tüketimi açısından önemlidir. Enzimatik hidroliz sonucunda lif yüzeyindeki yoğun hemiselüloz katmanı seyrelir; böylece ağartma kimyasallarının kalıntı ligninle temas olasılığı artar ve hedef parlaklığa ulaşmak için gereken oksidatif yük düşebilir ^[5].

Biyoağartma, Kimyasal Tasarruf ve AOX İlişkisi

Klorlu veya klor türevli ağartma kimyasallarının kullanıldığı proseslerde, ağartma veriminin artması yalnızca maliyet açısından değil, efluent kalitesi açısından da önem taşır. Xylanase ön işlemi, kimyasal yükün azaltılmasına yardımcı olduğunda, ağartma sırasında oluşabilecek organik halojenli yan ürünlerin azaltılması için dolaylı bir katkı sağlar ^[1].

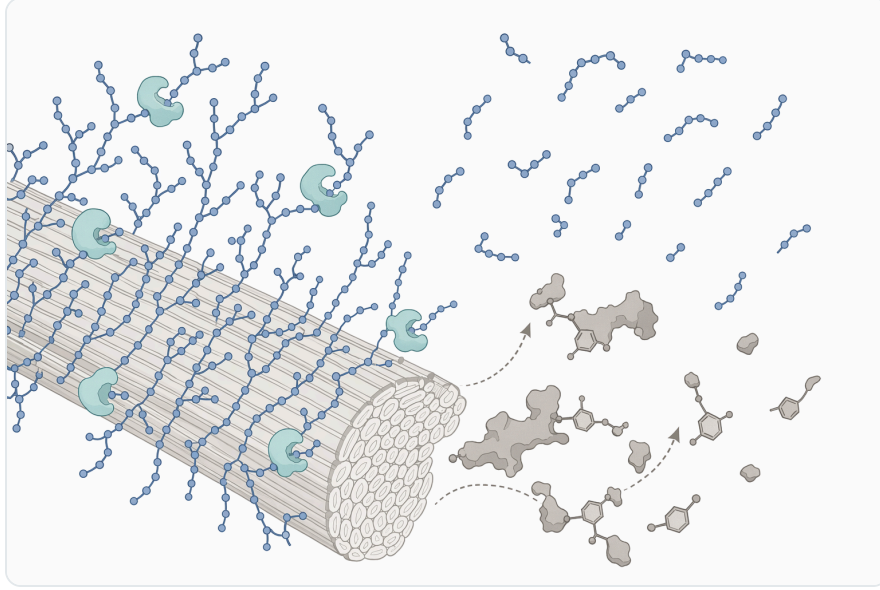


Figure 1. 알칼리성 자일라나아제는 섬유 표면에 결합된 자일란을 가수분해하여, 이후의 표백 또는 세정 약품이 섬유에 결합된 리그닌과 오염 물질에 더 효과적으로 접근할 수 있게 합니다.

AOX yükündeki düşüş, xylanase'nin atk sudaki klorlu bileşikleri sonradan parçalamasından kaynaklanmaz. Etki, hamurun daha kolay ağartılabilir hale gelmesi, dolayısıyla prosesin aynı hedefe daha az kimyasal kullanarak ulaşabilmesiyle ilişkilidir; bu nedenle ürün bir efluent arıtma katkısı değil, hamur hazırlama ve ağartma ön işlem aracıdır [2].

Literatürde xylanase uygulamasının kappa sayısını düşürmeye, parlaklığı artırmaya ve ağartma kimyasalı ihtiyacını azaltmaya yardımcı olabildiği farklı hamur türleriyle gösterilmiştir. Bununla birlikte sonuçlar ham madde, pişirme derecesi, yıkama etkinliği, başlangıç kappa seviyesi, ağartma sekansı ve proses koşullarına bağlıdır [5].

Bu koşula bağlılık, B2B kullanıcı açısından önemlidir: xylanase, her tesiste aynı oranda kimyasal tasarruf sağlayan sabit bir katkı gibi görülmemelidir. Daha doğru teknik çerçeve, enzimin xylan kaynaklı difüzyon engelini azaltarak ağartma kimyasallarının etkinliğini artırması ve prosesin kendi sınırları içinde optimizasyon potansiyeli yaratmasıdır [1].

Pulp & Paper Uygulamalarında Alkaline Xylanase'nin Yeri

Kâğıt hamuru üretiminde xylanase en yaygın olarak kraft pulp biyoağartma uygulamalarında kullanılır. Bu kullanımda enzim, ağartma öncesinde hamurla temas eder ve ardından mevcut kimyasal ağartma sekansı yürütülür; hedef, ağartma verimliliğini yükseltmek ve kimyasal tüketimini azaltma olasılığı yaratmaktır [2].

Elemental Chlorine Free ve Totally Chlorine Free gibi daha düşük klor yükü hedefleyen ağartma yaklaşımlarında da xylanase ön işlemleri araştırılmıştır. Bu sekanslarda enzimatik aşamanın amacı, kloruz veya düşük klorlu kimyasalların lif içindeki kalıntı lignine daha etkili ulaşmasına yardımcı olmaktadır ^[1].

Nonwood lif kaynaklarında da xylanase'nin yeri giderek daha görünür hale gelmiştir. Örneğin ananas yaprağı lifleriyle yapılan bir çalışmada biyopulping sonrası kimyasal ve xylanase destekli işlemlerle kâğıt üretimi değerlendirilmiş, bu da xylanase yaklaşımının yalnızca klasik odun hamurlarıyla sınırlı olmadığını göstermiştir ^[6].

Dut kâğıdı üretimi üzerine yapılan bir çalışmada, xylanase temelli enzimatik prosesin xylooligosaccharide üretimiyle birlikte ağartma ajanı dozlarını azaltma hedefiyle ele alındığı bildirilmiştir. Bu tür çalışmalar, xylanase'nin yalnızca parlaklık artırma değil, yan akış değerlendirme ve daha düşük kimyasal kullanımı gibi entegre sürdürülebilirlik hedefleriyle birlikte düşünülebildiğini gösterir ^[7].

Selüloz Lifini Koruma Açısından “Cellulase-Free” Yaklaşımın Önemi

Pulp & paper uygulamasında xylanase seçiminin teknik açıdan kritik yönlerinden biri, selüloz lifinin istenmeden zayıflatılmamasıdır. Bu nedenle literatürde selüloz içermeyen veya selüloz üzerinde istenmeyen etki göstermeyen alkaline xylanase'ler, kâğıt hamuru ağartma için özellikle uygun kabul edilmiştir ^[3].

Selüloz liflerinin zarar görmesi, viskozite, lif uzunluğu, mukavemet ve nihai kâğıt özellikleri üzerinde olumsuz etkilere yol açabilir. Xylanase uygulamasında hedef, selüloz omurgasını aşındırmak değil, hemiselüloz bariyerini kontrollü şekilde modifiye ederek kimyasal erişimi iyileştirmektir ^[1].

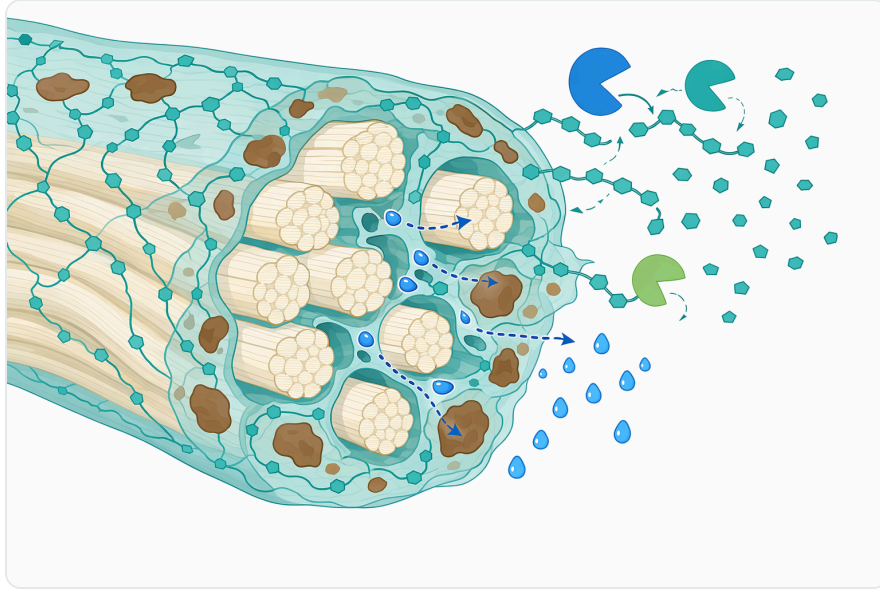


Figure 2. 섬유 수준에서 자일라나아제는 리그닌을 직접 산화하거나 셀룰로오스를 분해하는 것이 아니라 헤미셀룰로오스에 작용합니다.

Bu ayırım, endüstriyel kullanım dilinde önemli bir yanlış anlamayı önler. Xylanase'nin etkili olması için selülozu parçalamaya ihtiyaç yoktur; aksine, kâğıt hamuru proseslerinde değerli olan etki, selüloz lif yapısını korurken xylan kaynaklı erişim engelini azaltabilmesidir [3].

Alkaline Xylanase ve Diğer Enzimatik Yaklaşımlar: Karşılaştırma

Pulp & paper proseslerinde farklı enzimler farklı teknik hedeflerle kullanılır. Xylanase ağırlıklı olarak ağartılabilirliği artırmak için değerlendirilirken, laccase gibi lignin-modifiye edici enzimler lignin kimyasına daha doğrudan temas eder; cellulase veya hemicellulase bazlı sistemler ise lif modifikasyonu, drenaj veya rafinaj enerjisi gibi farklı amaçlarla ele alınabilir [8].

Enzimatik yaklaşım	Birincil proses hedefi	Ana etki mekanizması	Tipik kullanım bağlamı	Kritik teknik not
Alkaline xylanase	Biyoağartma ve bleach boosting	Lif yüzeyindeki xylanın kısmi hidrolizi	Kraft pulp, ECF/TCF destek, nonwood pulp	Lignini doğrudan oksitlemez; erişilebilirliği artırır [1]
Laccase ve benzeri lignin-modifiye edici enzimler	Lignin yapısının oksidatif modifikasyonu	Fenolik lignin bölgeleriyle reaksiyon	Sürdürülebilir delignifikasyon araştırmaları	Proses kimyası ve yardımcı sistemlere duyarlı olabilir [8]

Enzimatik yaklaşım	Birincil proses hedefi	Ana etki mekanizması	Tipik kullanım bağlamı	Kritik teknik not
Cellulase temelli uygulamalar	Rafinaj, lif modifikasyonu veya geri dönüşüm desteği	Selüloz yüzeyinde kontrollü etki	Recycled fiber, drenaj veya lif geliştirme	Aşırı etki lif mukavemetini olumsuz etkileyebilir [9]
Xylanase-pectinase kombinasyonları	Ağartılabilirlik ve matriks gevşetme	Hemiselüloz ve pektin bileşenlerinde eşzamanlı etki	Zayıf alkali hidrojen peroksit ağartma gibi uygulamalar	Sonuçlar tek başına xylanase etkisi olarak yorumlanmamalıdır [10]

Bu karşılaştırma, xylanase'nin pulp & paper ekosistemindeki yerini netleştirir. Industrial Alkaline Xylanase özellikle xylan bariyerini hedefleyen bir biyoağartma ön işlemidir; lignin oksidasyonu, stickies kontrolü veya genel lif rafinajı gibi başka hedefler için tasarlanmış enzimlerle aynı teknik kategoriye konmamalıdır [1].

Hardwood, Softwood ve Nonwood Hamurlarda Beklenen Farklılıklar

Xylanase performansı, hamurun botanik kaynağına göre değişebilir. Hardwood hamurlar genellikle xylan bakımından daha zengin olduğundan, xylanase ön işleminin ağartılabilirlik üzerinde daha belirgin etkiler oluşturması beklenebilir; softwood hamurlarda ise xylan içeriği ve lif yapısı farklı olduğu için etki daha sınırlı veya farklı profilde olabilir [1].

Nonwood liflerde durum daha değişkendir. Buğday samanı, tarımsal artıklar veya ananas yaprağı lifleri gibi kaynaklarda hemiselüloz, pektin, ekstraktif ve mineral bileşenlerin oranları odun hamurlarından farklı olabilir; bu nedenle xylanase'nin katkısı ham madde kompozisyonuna göre ayrı değerlendirilmelidir [11].

Şeker pancarı posası gibi tarımsal kalıntılar üzerinde yapılan enzimatik ön işlem çalışmaları, biyokütle yapısının enzimatik modifikasyonla değiştirilebildiğini ve lifli malzemelerin kâğıt veya selüloz bazlı ürünlere yönlendirilebildiğini göstermektedir. Bu bulgular doğrudan kraft biyoağartma ile aynı değildir, fakat hemiselüloz hedefli enzimatik yaklaşımın lignoselülozik malzemelerdeki önemini destekler [12].

Kâğıt uygulamalarında xylanase ile muamele edilmiş ağartılmış geniş yapraklı hamurun keten hamuru yerine kullanılmasını inceleyen çalışma, xylanase uygulamasının yalnızca ağartma kimyasıyla değil, özel kâğıt özellikleri ve lif ikamesi stratejileriyle de ilişkili olabileceğini göstermektedir [13].

Rafinaj Enerjisi, Lif Erişilebilirliği ve Mekanik İşleme İlişki

Xylanase'nin ana ticari algısı biyoağartma olsa da enzimatik ön işlemler pulp liflerinin mekanik işlem davranışını da etkileyebilir. Sert ve yumuşak odun hamurlarında enzimatik rafinaj üzerine yapılan çalışma, uygun enzimatik modifikasyonların rafinaj enerjisi tasarrufu hedefiyle ilişkilendirilebildiğini göstermiştir [14].



Figure 3. 산성, 중성, 알칼리성 자일라나아제는 공정 적합성이 서로 다르며, 알칼리성 자일라나아제는 많은 크라프트, 추출, 과산화물 및 재생섬유 공정 환경에 가장 잘 맞습니다.

Bu bağlamda xylanase'nin etkisi, lif yüzeyindeki hemiselüloz yapısını değiştirerek su alma, şişme ve mekanik işlem sırasında fibrilasyon davranışını etkileyebilmesiyle açıklanabilir. Ancak bu etki biyoağartmadaki kadar doğrudan ve standart değildir; rafinaj, lif morfolojisi ve nihai kâğıt özellikleriyle birlikte değerlendirilmelidir [14].

Doku kâğıdı üretimi için ağartılmış hamurun hafif enzimatik işlemde geçirilmesini inceleyen çalışma, enzim dozajı ve işlem şiddeti uygun seçildiğinde lif özelliklerinin ürün kategorisine göre yönlendirilebildiğini göstermektedir. Bu tür bulgular, xylanase dahil enzimlerin “güçlü parçalama” değil, kontrollü yüzey modifikasyonu aracı olarak ele alınması gerektiğini destekler [15].

Nanocellulose ve İleri Lif Ürünleriyle Bağlantı

Xylanase ve diğer hemiselüloz odaklı enzimatik işlemler, nanocellulose üretimi gibi ileri selülozik malzeme alanlarında da araştırılmaktadır. Pulp & paper endüstrisi kalıntılarından nanocellulose üretiminde enzimatik rotaların incelenmesi, hemiselüloz ve lif yüzeyi modifikasyonunun mekanik

ayırıştırma süreçleriyle ilişkili olduğunu ortaya koyar ^[16].

Polimer kompozitlerde kullanılacak nanocellulose üretimi üzerine yapılan çalışma, enzimatik işlemin liflerin daha ince yapılara ayrılmasını kolaylaştırma potansiyeline odaklanmıştır. Bu uygulama biyoağartmadan farklıdır, ancak xylanase benzeri enzimlerin lif matrisini daha erişilebilir hale getirme mantığıyla aynı temel biyomalzeme prensiplerini paylaşır ^[17].

Mekanik hamurdan lignoselüloz nanofibril üretiminde laccase ile lignin oksidasyonu çalışması, lif modifikasyonunda farklı enzim sınıflarının farklı hedeflere sahip olduğunu gösterir. Xylanase burada lignin oksidasyonu yerine hemiselüloz bariyerinin azaltılmasıyla ayırıştır ^[18].

Stickies, Efluent ve Su Kullanımıyla Karıştırılmaması Gereken Noktalar

Pulp & paper tesislerinde stickies kontrolü, su devresi, efluent yönetimi ve ağartma verimliliği birbirine bağlı operasyonel konulardır; ancak hepsi aynı enzimle çözülmez. Kraft kâğıt üretiminde stickies bileşenlerinin kimyasal karakterizasyonu ve enzimatik kontrolüne ilişkin çalışma, proses içi organik kirleticilerin ayrı bir teknik problem olduğunu gösterir ^[19].

Industrial Alkaline Xylanase, stickies kontrolü için konumlandırılan bir ürün gibi değerlendirilmemelidir. Xylanase'nin hedefi xylan yapısıdır; yapışkan kirleticiler, reçineler, lateks kalıntıları veya geri dönüşümlü lif kaynaklı hidrofobik bileşenler için farklı enzimatik veya kimyasal stratejiler gerekebilir ^[19].

Su kullanımının optimizasyonu üzerine yapılan derleme, pulp & paper tesislerinde su devrelerinin, kapalı çevrimlerin ve efluent yükünün üretim sürdürülebilirliği açısından kritik olduğunu vurgular. Xylanase uygulaması kimyasal yükü azaltarak efluent profilini dolaylı etkileyebilir; ancak su yönetimi tek başına xylanase ile çözülen bir konu değildir ^[20].

Pulp ve paper endüstrisi efluentlerinin enzim aracılı biyobozunumu üzerine yapılan çalışmalar, atık su arıtma bağlamındaki enzim uygulamalarının biyoağartmadan ayrı değerlendirilmesi gerektiğini gösterir. Xylanase'nin hamur ön işlemindeki rolü, efluent içindeki kirleticileri sonradan parçalamak değil, proses başında kimyasal ihtiyacını azaltmaya yardımcı olmaktadır ^[21].

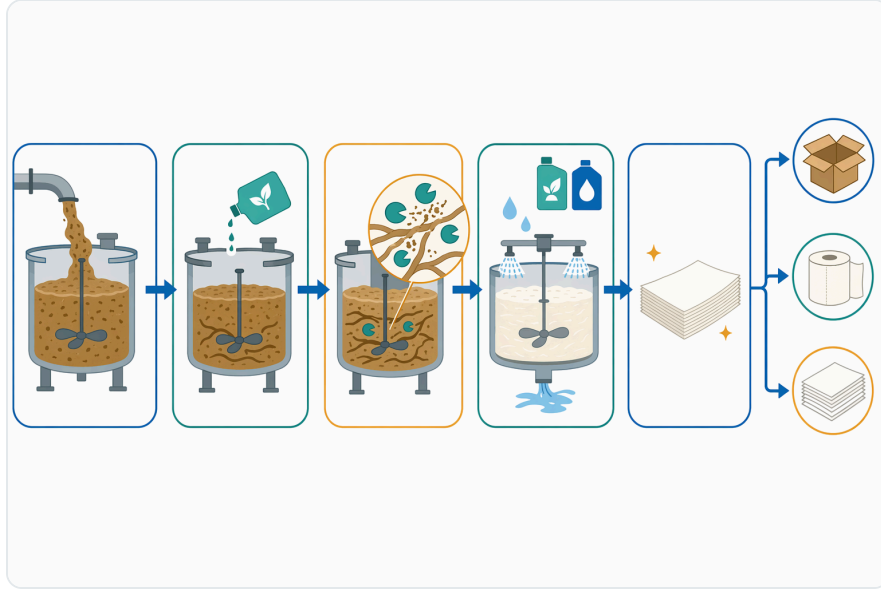


Figure 4. 크라프트 펄프 표백 보조 공정에서 자일라나아제는 일반적으로 주요 산화 표백 단계 전에 투입되어 리그닌 접근성을 높입니다.

Proses Entegrasyonunda Dikkat Edilmesi Gereken Teknik Sınırlar

Xylanase uygulaması genellikle hamurun ağartma öncesi belirli bir temas aşamasına alınmasıyla gerçekleştirilir. Bu aşamada pH, sıcaklık, hamur kıvamı ve temas süresi gibi parametreler enzimin substrata erişimini ve lif yüzeyindeki hidroliz derecesini etkiler; ancak bu parametreler tesis prosesine göre değiştiği için tek bir evrensel reçete olarak sunulmamalıdır ^[1].

Alkali tolerans ve termal kararlılık, pulp & paper gibi sıcak ve kimyasal olarak zorlayıcı ortamlarda önemlidir. Termotabil ve alkali toleranslı xylanase'lerin geliştirilmesine yönelik çalışmalar, bu özelliklerin endüstriyel uygulanabilirliği artırmak için araştırma odağı olduğunu göstermektedir ^[22].

Alkalofilik özellikleri iyileştirilmiş xylanase varyantları üzerine yapılan araştırmalar da benzer bir ihtiyacı yansıtır: enzim, teorik olarak xylanı parçalayabiliyor olsa bile, gerçek proses koşullarında yeterli dayanıklılık göstermediğinde ağartma hattına katkısı sınırlı kalabilir ^[23].

Endüstriyel ölçekte beklenen sonuçların yalnızca enzimin kendisine değil, hamurun başlangıç özelliklerine ve sekans tasarımına bağlı olması bu nedenle şaşırtıcı değildir. Enzimatik ön işlem, doğru bağlamda güçlü bir araçtır; fakat kötü yıkanmış, yüksek ekstraktif içeren veya sekansı uyumsuz bir hamurda aynı etki düzeyi beklenmemelidir ^[1].

Xylanase-Pectinase ve Çoklu Enzim Sistemlerinde Yorum Sınırı

Bazı güncel çalışmalar xylanase'yi pectinase gibi başka enzimlerle birlikte değerlendirmektedir. Örneğin kavak kemi-thermomechanical pulp üzerinde zayıf alkali hidrojen peroksit ağartma öncesi xylanase-pectinase ön işlemiyle ağartılabilirliğin sinerjik biçimde iyileştirildiği rapor edilmiştir ^[10].

Bu tür sonuçlar teknik açıdan değerlidir, ancak tek başına alkaline xylanase performansı olarak okunmamalıdır. Pectinase pektin bileşenlerini, xylanase xylan bileşenlerini hedeflediğinde lif matrisi üzerindeki toplam etki birden fazla substratın eşzamanlı modifikasyonundan kaynaklanır ^[10].

Aynı yorum sınırı laccase, cellulase, lipase veya protease içeren kokteyller için de geçerlidir. Çoklu enzim sistemleri belirli proses sorunlarında avantaj sağlayabilir, fakat Industrial Alkaline Xylanase'nin ürün bağlamındaki ana teknik değeri xylan hidroliziyle biyoağartmayı desteklemesidir ^[1].

Sürdürülebilirlik Açısından Değeri

Pulp & paper sektöründe enzimatik ön işlemler, kimyasal kullanımını azaltma, daha düşük efluent yükü oluşturma ve enerji yoğun prosesleri iyileştirme hedefleriyle araştırılmaktadır. Xylanase bu yaklaşımın en yerleşik örneklerinden biridir çünkü lif yüzeyindeki hemiselüloz bariyerini hedefleyerek ağartma kimyasallarının daha verimli kullanılmasına yardımcı olur ^[1].

Lignin-modifiye edici enzimlerin sürdürülebilir pulp & paper üretimindeki rolünü inceleyen çalışmalar, biyoteknolojik proseslerin kimyasal delignifikasyon stratejilerine tamamlayıcı olabileceğini göstermektedir. Xylanase bu alanda lignin oksidasyonu yerine erişilebilirlik artırma yönüyle ayrı bir yer tutar ^[8].



Figure 5. 자일라나아제는 자일란이 접근성을 제한할 때 크라프트 펄프 표백, 비목재 펄프 처리, 회수섬유 탈목, 더 깨끗한 섬유 가공을 지원할 수 있습니다.

Pulp-paper mill sludge gibi yan akışların biyoyakıt üretimi için değerlendirilmesi üzerine yapılan derlemeler, sektörün sürdürülebilirlik gündeminin yalnızca ağartma hattıyla sınırlı olmadığını gösterir. Xylanase gibi enzimlerin proses içi kimyasal yükü azaltma potansiyeli, bu daha geniş döngüsel ekonomi yaklaşımının bir parçası olarak görülebilir [24].

Enzymes.bio Ürün Bağlamı

Enzymes.bio'nun "Industrial Alkaline Xylanase For Pulp And Paper Processing" ürünü, pulp ve kâğıt işlemlerinde xylanin hedeflenmesi yoluyla biyoağartmayı ve proses verimliliğini destekleyen bir endüstriyel enzim olarak listelenir. Enzymes.bio bu ürünü üretici veya laboratuvar olarak değil, çevrim içi B2B tedarik platformu olarak sunar .

Ürün 1 kg birimler halinde çevrim içi doğrudan siparişe uygundur. Sipariş süreci, ürünün seçilmesi ve çevrim içi satın alma akışı üzerinden ilerler; CoA ve SDS belgeleri siparişle birlikte sağlanır .

Enzymes.bio'nun pulp & paper enzymes kategorisi, kâğıt hamuru ve kâğıt proseslerindeki farklı enzimatik ihtiyaçlara yönelik ürünleri bir araya getirir. Industrial Alkaline Xylanase bu portföy içinde özellikle pulp biyoağartma ve xylan odaklı lif erişilebilirliği uygulamalarıyla ilişkilidir .

Bu ürün insan tüketimi veya perakende tüketici kullanımı için konumlandırılmış bir ürün değildir. Teknik kullanım çerçevesi, endüstriyel proseslerde hamur ön işlemine destek olmak ve mevcut ağartma stratejilerinde biyokatalitik verimlilik sağlamaktır .

Teknik Sonuç

Industrial Alkaline Xylanase, pulp & paper proseslerinde lif yüzeyindeki xylan tabakasını kısmen hidrolize ederek ağartma kimyasallarının kalıntı lignine daha etkili ulaşmasına yardımcı olur. Bu nedenle en doğru tanımı, tek başına ağartıcı veya lignin yok edici ajan değil, biyoağartma sekansını güçlendiren alkali uyumlu xylanase ön işlemidir ^[1].

Literatür, xylanase uygulamalarının kimyasal tüketimini azaltma, parlaklık kazanımını destekleme, kappa sayısı kontrolüne katkı verme ve AOX oluşumunu dolaylı olarak düşürme potansiyelini desteklemektedir. Ancak bu sonuçlar ham madde, hamur tipi, proses koşulları ve ağartma sekansına bağlıdır; bu nedenle ürünün değeri, mevcut pulp & paper hattında xylan kaynaklı erişim engelini azaltma kabiliyeti üzerinden değerlendirilmelidir ^[2].

Enzymes.bio üzerinden sunulan Industrial Alkaline Xylanase For Pulp And Paper Processing, 1 kg birimler halinde çevrim içi doğrudan siparişe açık bir B2B tedarik ürünüdür. Siparişe birlikte CoA ve SDS sağlanır; ürünün teknik bağlamı, kâğıt hamuru biyoağartma ve xylan hedefli proses desteğidir .

Industrial Alkaline Xylanase For Pulp And Paper Processing 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.

[Industrial Alkaline Xylanase For Pulp And Paper Processing satın alın →](#)

Kaynaklar

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

1. Dukare, A., Sharma, K., Kautkar, S., Dhakane-Lad, J., Yadav, R., Nandanathangam, V., & Saxena, S. (2023). Microbial xylanase aided biobleaching effect on multiple components of lignocelluloses biomass based pulp and paper: a review. *Nordic Pulp & Paper Research Journal*, 0.
2. Sridevi, A., Ramanjaneyulu, G., & Devi, P. S. (2017). Biobleaching of paper pulp with xylanase produced by Trichoderma asperillum. *3 Biotech*, 7, 1-9.
3. Shrinivas, D., Savitha, G., Raviranjana, K., & Naik, G. (2010). A Highly Thermostable Alkaline Cellulase-Free Xylanase from Thermoalkalophilic Bacillus sp. JB 99 Suitable for Paper and Pulp Industry: Purification and Characterization.

Applied Biochemistry and Biotechnology, 162, 2049-2057.

4. Zhao, Y., Luo, H., Meng, K., Shi, P., Wang, G., Yang, P., Yuan, T., ... et al. (2011). A Xylanase Gene Directly Cloned from the Genomic DNA of Alkaline Wastewater Sludge Showing Application Potential in the Paper Industry. *Applied Biochemistry and Biotechnology*, 165, 35-46.
5. Sridevi, A., Narasimha, G., & Devi, P. (2019). PRODUCTION OF XYLANASE BY PENICILLIUM SP. AND ITS BIOBLEACHING EFFICIENCY IN PAPER AND PULP INDUSTRY.
6. Moya, R., Tenorio, C., Puente-Urbina, A., Rosales-López, C., & Vega-baudrit, J. (2023). Production of Paper Using Biopulping of Pineapple Leaves Fibers (PALF) Followed by Chemical and Xylanase-Enzymatic Processing. *Journal of Natural Fibers*, 20.
7. Chaiyaso, T., Boonchuay, P., Takenaka, S., Techapun, C., Rachtanapun, P., Jantanasakulwong, K., & Watanabe, M. (2021). Efficient Enzymatic Process for Mulberry Paper Production: An Approach for Xylooligosaccharide Production Coupled with Minimizing Bleaching Agent Doses. *Waste and Biomass Valorization*, 12, 5347 - 5360.
8. Buhari, F., Njoku, K., Oboh, B., & Owolabi, F. A. (2025). INVESTIGATING LIGNIN-MODIFYING ENZYMES FOR SUSTAINABLE PULP AND PAPER PRODUCTION. *FUDMA Journal of Sciences*.
9. Yakubu, A., & Vyas, A. (2023). INDUSTRIAL APPLICATION OF ALKALINE CELLULASE ENZYMES IN PULP AND PAPER RECYCLING: A REVIEW. *Cellulose Chemistry and Technology*.
10. Li, J., Tian, J., Liu, Z., Wang, H., & Hou, Q. (2025). Synergistic improvement of bleachability for poplar chemi-thermomechanical pulp in weakly-alkaline hydrogen peroxide bleaching by xylanase-pectinase pre-treatment. *International Journal of Biological Macromolecules*, 148546 .
11. Serrano, I., Afailal, Z., Sánchez-Paniagua, N., González, P., Bautista, A., Gil-Lalaguna, N., Gonzalo, A., ... et al. (2024). Production of derivatives from wheat straw as reinforcement material for paper produced from secondary fibers. *Cellulose*, 31, 2541 - 2556.
12. Perzon, A., Jørgensen, B., & Ulvskov, P. (2020). Sustainable production of cellulose nanofiber gels and paper from sugar beet waste using enzymatic pre-treatment. *Carbohydrate Polymers*, 230, 115581 .
13. Wei, H., You, M., Shen, X., Zhao, G., Qin, L., Wu, H., Bai, J., ... et al. (2026). The influence of xylanase-treated bleached broadleaf pulp as a substitute for flax pulp on the properties of slim cigarette paper. *Nordic Pulp & Paper Research Journal*, 0.
14. Nagl, M., Haske-Cornelius, O., Bauer, W., Nyanhongo, G., & Guebitz, G. (2023). Enhanced energy savings in enzymatic refining of hardwood and softwood pulp. *Energy, Sustainability and Society*, 13, 1-15.
15. Kmiotek, M., Dybka-Stępień, K., & Karmazyn, A. (2021). Mild enzymatic treatment of bleached pulp for tissue production. *Bioresources*, 16, 4221-4236.
16. Michelin, M., Gomes, D. G., Romani, A., Polizeli, M., & Teixeira, J. (2020). Nanocellulose Production: Exploring the Enzymatic Route and Residues of Pulp and Paper Industry. *Molecules*, 25.
17. Zielińska, D., Szentner, K., Waśkiewicz, A., & Borysiak, S. (2021). Production of Nanocellulose by Enzymatic Treatment for Application in Polymer Composites. *Materials*, 14.
18. Henríquez-Gallegos, S., Albornoz-Palma, G., Andrade, A., Filgueira, D., Méndez-Miranda, A., Mendonça, R. T., & Pereira, M. (2024). Effect of enzyme lignin oxidation by laccase on the enzymatic-mechanical production process of

lignocellulose nanofibrils from mechanical pulp. *Cellulose*, 31, 3545 - 3560.

19. Ballinas-Casarrubias, L., González-Sánchez, G., Eguiarte-Franco, S., Siqueiros-Cendón, T., Flores-Gallardo, S., Villa, E. D., Dios Hernandez, M., ... et al. (2019). Chemical Characterization and Enzymatic Control of Stickies in Kraft Paper Production. *Polymers*, 12.
20. Ocklind, F., Liback, K., Lundqvist, L., Harge, W., & Venkatesh, G. (2024). Optimisation of Water-Use in Pulp and Paper Mills: A Streamlined Review of Scientific Journal Publications. *Studia Ecologiae et Bioethicae*.
21. Zainith, S., & Bahuguna, H. (2026). Enzyme-Mediated Biodegradation Of Pulp And Paper Industry Effluent By Indigenous Bacterial And Fungal Isolates. *International Journal of Allied Sciences and Research*.
22. Zhi-Lai, Zhou, C., Ma, X., Xue, Y., & Ma, Y. (2020). Enzymatic characterization of a novel thermostable and alkaline tolerant GH10 xylanase and activity improvement by multiple rational mutagenesis strategies. *International Journal of Biological Macromolecules*.
23. Bai, W., Cao, Y., Liu, J., Wang, Q., & Jia, Z. (2016). Improvement of alkalophilicity of an alkaline xylanase Xyn11A-LC from Bacillus sp. SN5 by random mutation and Glu135 saturation mutagenesis. *BMC Biotechnology*, 16.
24. Kumar, V., Verma, P., Freitas, F. A., Srivastava, P. K., Vashishth, A., & Américo-Pinheiro, J. (2025). A critical review on biofuels generation from pulp-paper mill sludge with emphasis on pretreatment methods: renewable energy for environmental sustainability. *BMC Environmental Science*, 2.

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.