

TEKNİK MAKALE

Endüstriyel Kazanlarda Alkali Kaynatma vs. Asit Kimyasal Yıkama

VGB-S-513 uyumlu devreye alma temizliği: yöntem seçimi, pH, kimyasallar,
süre, kalite doğrulama ve karar rehberi

Proses Devreye Alma Teknolojileri Buhar Üfleme ve Kimyasal Temizlik Hizmetleri A.Ş.

Eylül 2026



Proses Devreye Alma Teknolojileri Buhar Üfleme ve Kimyasal Temizlik Hizmetleri A.Ş.

www.prosescom.tech

1. GİRİŞ

Endüstriyel kazan devreye alma ve bakım projelerinde alkali kaynatma (boil-out) ile asit kimyasal yıkama (pickling) ifadeleri sıklıkla genel anlamda "kimyasal yıkama" olarak birbirinin yerine kullanılmaktadır. Oysa iki yöntem; çözelti pH'si, hedefledikleri kir türü, temizlenen devre kapsamı ve saha altyapısı bakımından birbirinden ayrılır. Alkali kaynatma yüksek pH ortamında yağ, gres ve gevşek inşaat kalıntılarını giderir; asit kimyasal yıkama ise inhibe asit solüsyonlarıyla yapışık mill scale (yapışık hadde pulu), demir oksit ve operasyonel tortuları çözer.

Bu makale VGB-S-513 standardı çerçevesinde her iki yöntemi; kimyasallar, tipik süreler, temizlik amacı, kalite doğrulama ve seçim kriterleri açısından karşılaştırmaktadır. Temel bulgu, yöntemlerin birbirinin yerine geçmediğidir: yeni kazanlarda çoğunlukla alkali kaynatma ile buhar üfleme birlikte uygulanırken, yüksek basınçlı tesislerde ve işletme halindeki kazanlarda asit kimyasal yıkama ayrı bir mühendislik kararı olarak değerlendirilmelidir.

Sahada "alkali temizlik" ile "asit temizlik" kavramlarının birbirinin yerine kullanılması yalnızca terminolojik bir karışıklık değildir; yanlış yöntem seçimi doğrudan operasyonel risk doğurabilir. Örneğin, buhar devrelerinde yapışık depozit yalnızca alkali kaynatma ile giderilmeye çalışılması temizlik yetersizliğine; yağ/gres ağırlıklı kir profiline asit kimyasal yıkama uygulanması ise reaksiyon kapasitesinin organik kirleticilere harcanmasına ve proje maliyetinin artmasına neden olur.

1.1 Terminoloji

Bu makale boyunca aşağıdaki terimler tutarlı biçimde kullanılmaktadır:

- **Alkali kaynatma (boil-out):** Kazan su devresinde yüksek pH'li solüsyonla yürütülen kaynatma işlemidir.
- **Asit kimyasal yıkama (pickling):** İnhibe edilmiş asit solüsyonunun harici sirkülasyonla uygulandığı temizlik aşamasıdır.
- **Kimyasal yıkama:** Yalnızca her iki yöntemi kapsayan üst kavram olarak kullanılır; spesifik aşama adı olarak tercih edilmez.



1.2 pH, kir profili ve temizlik mekanizması



Kazan iç temizliğinde yöntem seçimi esas olarak çözelti pH'sine ve hedef kir profiline dayanır. pH skalası 0–14 arasında tanımlanır; pH 7 nötr, pH < 7 asidik, pH > 7 alkalın ortamı ifade eder. Alkali kaynatmada tipik pH aralığı 10,5–13'tür; yağ ve gres bu ortamda sabunlaşır (emülsifiye olur). Asit kimyasal yıkamada tipik pH aralığı 1–3'tür; yapışık demir oksit, depozit ve mineral tortular bu ortamda çözünür. Aynı pH aralığında her iki kir türünü etkili biçimde gidermek mühendislik olarak mümkün değildir.

Temizlik sırasında pH değerinin saha veya laboratuvar koşullarında izlenmesi, seçilen yöntemin doğru uygulandığının bir göstergesidir.

1.3 VGB-S-513 devreye alma temizlik zinciri

VGB-S-513, devreye alma temizliğini mantıksal bir sıra içinde tanımlar:

Flushing (Bölüm 4) → Alkali kaynatma (Bölüm 5) → Asit kimyasal yıkama (Bölüm 6) → Pasivasyon → Buhar üfleme (Bölüm 7).

Bu makale alkali kaynatma ile asit kimyasal yıkama aşamalarına odaklanmaktadır; flushing ve buhar üfleme tamamlayıcı adımlar olarak kabul edilmiştir. Proje planlamasında aşamaların atlanması veya ters sırada uygulanması, temizlik kalitesini ve devreye alma takvimini olumsuz etkiler.

2. Alkali Kaynatma (Boil-out) Yöntemi

2.1 Amaç ve Kapsam

Alkali kaynatmanın birincil amacı, imalat ve montaj sırasında kalan organik kirleticileri (yağ, gres, koruyucu yağlar, boya) gidermek ve su devresinde operasyona hazır temiz bir yüzey oluşturmaktır. İkincil amaç, gevşek hadde pulları ve ince pas tabakalarını ayırmak; operasyon sırasında koruyucu magnetit tabakasının oluşması için zemin hazırlamaktır. VGB-S-513 Bölüm 5'e göre alkali kaynatma yalnızca su taşıyan devreler için uygulanır; buhar hatları (süper ısıtıcı, reheater, buhar borusu) bu aşamada temizlenmez.

Yöntemin saha avantajları arasında geçici borulama ihtiyacının minimum olması (kazan kendi ateşiyle ısıtılır), su devresinde yağ/gres gideriminin etkinliği, refrakter kurutma programı ile eşzamanlı planlanabilmesi (VGB Bölüm 5.3) yer alır.



2.2 Kimyasallar ve Dozaj

VGB-S-513 Bölüm 5.5.1 güçlü alkalin kaynatma yöntemi için sodyum hidroksit, trisodyum fosfat, amonyak, hidrazin ve köpük kesici kullanılır. Elde edilen pH yaklaşık 12,5'tir. Zayıf alkalin yöntemde (Bölüm 5.5.2) pH ~10,5 hedeflenir; zayıf alkali yöntem daha çok demineralize su kullanan tesislerde tercih edilir.

Son yıllarda organik alternatifler (EDTA/NTA, poliakrilat, amine karışımları, ağır metalleri bağlayan ve kalıntıları söken özel kimyasallar) uygulanmaktadır (VGB Bölüm 5.5.3). Bu ürünler yağ giderme ve pas temizliği işlemini birleştirir; ancak kullanılan kimyasalların organik oluşu, atıksu COD değerini (su kirlilik yükünü) yükseltir ve maliyetli bir atık arıtmaya gerektirir.



2.3 Süre ve Prosedür

Tipik süre 4–7 gündür. Güçlü alkalin yöntemde basınç artırılır, yaklaşık 2 saat tutulur, ardından kontrollü basınç düşürülür; döngü 1–2 kez tekrarlanır (VGB Bölüm 5.5.1.5). Zayıf alkalin yöntemde basınç en az 8 saat tutulur. Organik kimyasal yöntemlerde genellikle 2 × 24 saat uygulama yapılır. **Alkali kaynatma öncesinde flushing (VGB Bölüm 4) zorunludur; aksi halde gevşek partiküller sirkülasyonu tıkayabilir.**

2.4 Kalite Doğrulama

Alkali kaynatma kalitesi tek bir parametreyle değerlendirilmez. Numune analizinde pH, iletkenlik ve çözünür demir (Fe) değerleri izlenir. Görsel muayene (drum/header içi, endoskopi) ile yüzey temizliği doğrulanır. Blowdown/drenaj/blöf numunelerinde katı madde azalması ve su berraklığındaki iyileşme temizlik ilerlemesinin göstergesidir. Valmet, Aalborg gibi OEM programlarında magnetit film oluşumu için ve pasivasyon koruyucu tabakasının oluşumu için Sıcaklık > 200°C, pH > 8, süre 24–48 saat olarak değerlendirir.

Aşağıdaki resimde alkali kaynatma işlemi sırasında 24 saatlik numune serisi sunulmaktadır. Okuyucu, numune şişelerindeki renk değişiminin koyu tondan berrak tona geçişini inceleyerek kirlilik yükünün azaldığını ve temizliğin tamamlanmak üzere olduğunu değerlendirebilir; pH değerlerinin 10,6–11,5 aralığında kalması alkalin karakterin korunduğunu gösterir.



2.5 Sınırlamalar ve Riskler

- Alkali kaynatma buhar hatlarını temizlemez; SH/RH ve buhar boruları için buhar üfleme (VGB Bölüm 7) gerekir. Buhar hatlarının malzeme/metalurji farklılığından dolayı, güçlü kostik uygulamalarında yarık bölgelerde stres korozyonu riski oluşturur (VGB Bölüm 5.4).
- Brülörün devreye alınması ve yakıt tüketimi planlaması gerektirir.
- Alkalin atıksu bertaraf öncesi nötralizasyon gerektirir.

3. Asit Kimyasal Yıkama (Pickling) Yöntemi

3.1 Amaç ve Kapsam

Asit kimyasal yıkamanın amacı, boru iç yüzeyinde tanımlı temiz metal yüzeyi elde etmek ve pasivasyon ile koruyucu magnetit tabakası oluşturmaktır (VGB Bölüm 6). Pre-operational asit temizliği uygulamalarında imalat kalıntılarını ve boru iç yüzeyi koruyucu yağ tabakalarının asit aşamasında giderilmesi; Post-operational asit temizliği uygulamalarında ise kireç, silikat ve demir oksit birikimlerinin uzaklaştırılması hedeflenir. VGB-S-513 Bölüm 6'ya göre asit kimyasal yıkama su ve buhar sistemlerinin tüm devrelerini kapsayabilir.

Yöntemin saha avantajları arasında su ve buhar sistemlerinin birlikte temizlenebilmesi, buhar üfleme süresinin kısaltılabilmesi ve buhar kalitesine daha hızlı ulaşım, OEM onayı ile türbin erken devreye alma imkânı ve ısı transfer verimliliğinin korunarak tüp aşırı ısınması riskinin azaltılması yer alır.

3.2 Kimyasallar ve İnhibitörler

Yağ giderme aşaması alkalin solüsyon veya sürfaktan ile yapılabilir. Asit aşamasında mineral asitler, organik asitler ve kompleksleştiriciler (EDTA, ammonium citrate) metallurji ve kir profiline göre seçilir. Tüm asit kimyasal yıkama uygulamalarında **inhibitör kullanımı zorunludur**; inhibitör olmadan asit metal ile reaksiyona girerek korozyon ve hidrojen oluşumuna yol açar (VGB Bölüm 6.4). Temizlik sonrası nötralizasyon, durulama ve oksitleyici pasivasyon (ör. H_2O_2) uygulanır; ardından alkalin durulama hidrojen riskini giderir.

3.3 Süre ve Prosedür

Tipik proje süresi 5–8 gündür (hazırlık, asit sirkülasyon, durulama, pasivasyon). Asit temas süresi genellikle 2–6 saattir; sıcaklık inhibitör limitine bağlıdır (çoğu inhibitör için $\sim 70^\circ C$ üst sınır). Kimyasal yıkama sirkülasyon pompası, sirkülasyon suyunu ısıtıcı buhar jeneratörü ve geçici boru tesisatı, kimyasal temizlik işlemine başlamadan önce detaylı mühendislik çalışmaları ile planlanmalıdır (VGB Bölüm 6.1).

3.4 Kalite Doğrulama

Asit kimyasal yıkama kalitesi sirkülasyon sırasında asit konsantrasyonu, çözünür Fe/Cu, redox potansiyeli ve iletkenlik değerleri ile izlenir. Metal loss testi (korozyon kuponları, VGB Bölüm 10.3) boru içi metal kaybını doğrular. Kalan depozit (residual layer) ölçümü tüp kesiti analizi ile yapılır (VGB Bölüm 10.4). Görsel muayene



drum, kollektör ve boru tüpleri içinde temiz metal yüzeyi ile teyit edilir. Pasivasyon sonrası uniform koyu magnetit filmi before/after karşılaştırması ile değerlendirilir.

Şekilde drum iç yüzeyinin temizlik öncesi (sağ) ve sonrası (sol) karşılaştırması sunulmaktadır; okuyucu sağ taraftaki tortu/oksit tabakası ile sol taraftaki tanımlı temiz metal yüzeyi arasındaki farka odaklanmalıdır.



3.5 Sınırlamalar ve Riskler

Asit kimyasal yıkama projelerinde atıksu hacmi ve bertaraf maliyetleri yüksektir. Geçici borulama malzeme ve işçilik maliyeti gerektirir. Hidrojen gevrekliği ve H₂ patlama riski nedeniyle havalandırma zorunludur. Drenaj edilemeyen yatay hatlarda asit kalıntısı kalıcı korozyon riski doğurabilir. Austenitik çelik ve Ni alaşımlarında metalurji uyumsuzluğu kimyasal yıkama işleminde kullanılacak asit seçimini kritik hale getirir (VGB Bölüm 10.8).



4. Yöntemlerin Karşılaştırmalı Analizi

Alkali kaynatma ile asit kimyasal yıkama; pH aralığı, hedef kir türü, devre kapsamı ve saha altyapısı bakımından karşılaştırıldığında birbirinin yerine geçen yöntemler değildir. Aşağıdaki özet tablo, temel farkları hızlı referans için sunmaktadır.

Özellik	Alkali kaynatma (boil-out)	Asit kimyasal yıkama (pickling)
Tipik pH aralığı	10,5 – 13	1 – 3 (inhibe asit)
Temizlediği kir	Yağ, gres, boya, gevşek oksit	Yağ, gres + mineral tortu (kireç, silis) + oksit yüzeyler
Uygulama süresi	4–7 gün	5–8 gün
Devre kapsamı	Su taşıyan bölümler	Su + buhar devreleri
Sirkülasyon	Doğal (kazan ateşi)	Harici pompa (zorunlu)
Tipik uygulama	Yeni kazan devreye alma	Yeni kazan devreye alma (pre-operational) + işletme bakımı temizliği (post-operational)
Avantajlar	Daha az geçici borulama ve hazırlık	Daha kısa buhar üfleme süresi; buhar parametrelerine daha hızlı ulaşım, yağ giderme adımı dahil; yüksek temizlik derecesi, uniform koruyucu tabaka; türbin erken devreye alma
Dezavantajlar	Brülör devreye alınmalı; kazan çalıştırma yakıt tüketimi, buhar tarafı temizlenemez	Atıksu yönetimi; geçici borulama maliyeti

5. Seçim Kriterleri ve Karar Matrisi

Yeni kazan için klasik yaklaşım: alkali kaynatma (su devresi yağ giderme) + buhar üfleme (SH/RH mill scale) = tam devreye alma temizlik paketi. Asit kimyasal yıkama, OEM spesifikasyonu veya yüksek basınçlı tesis gereksinimi varsa eklenir; her yeni kazanda zorunlu değildir.



5.1 Yeni kazan (pre-operational)

Paket kazan, HRSG ve düşük–orta basınçlı tesislerde çoğunlukla alkali kaynatma ile buhar üfleme yeterli kabul edilir.

Utility boiler, yüksek basınçlı kazanlar ve OEM asit kimyasal yıkama şartı olan projelerde;

Alkali kaynatma (yağ giderme/degreasing) → asit kimyasal yıkama (oksit giderme) → pasivasyon → buhar üfleme şeklinde planlanır. Kir profili yalnızca organik (yağ/gres) ise alkalin kaynatma veya harici degreasing tercih edilir. SH/RH'de yapışık mill scale için buhar üfleme uygulanır; yetersiz kalırsa asit kimyasal yıkama değerlendirilir.

5.2 İşletme halindeki kazan (post-operational)

Isı transfer düşüşü, basınç artışı ve debi kaybı gibi belirtiler operasyonel asit kimyasal yıkama ihtiyacını gündeme getirir. Planlı bakım aralığı tipik olarak 3–5 yıldır (su kalitesi ve OEM gereksinimlerine bağlıdır). Kir profili yalnızca yağ/kir içeriyorsa degreasing veya zayıf alkalin yıkama yeterli olabilir.

5.3 Karar matrisi

Enerji santrali ve endüstriyel tesis projelerinde devreye alma takvimi ve maliyet baskısı sıklıkla temizlik kapsamının kısaltılması yönünde baskı oluşturur. VGB-S-513 standardı ise kir profiline uygun, tamamlayıcı temizlik zincirini (flushing → alkali kaynatma → asit kimyasal yıkama → pasivasyon → buhar üfleme) kalite güvencesi olarak tanımlar. Karar matrisi, bu iki gereksinim arasındaki dengeyi proje özelinde kurmak için kullanılmalıdır; hız ve maliyet gerekçesiyle aşama atlamak, ileride kazan borularında aşırı ısınma, buhar kalitesi sapması veya türbin hasarı gibi daha yüksek maliyetli sonuçlara yol açabilir.

Alkali kaynatma (boil-out) ile asit kimyasal yıkama (pickling) aynı işlem değildir; pH aralığı, hedef kir türü ve temizlenen devre kapsamı birbirinden ayrılır. Alkali kaynatma yüksek pH ortamında yağ ve gres giderir; su devresine uygulanır ve kazan ateşi ile yürütülür. Asit kimyasal yıkama inhibe asit ile yapışık oksit ve tortuları çözer; su ve buhar ıslak devreleri kapsar, harici sirkülasyon gerektirir.

Temizlik kalitesi pH değeri tek başına ile ölçülmez; çözünür demir, iletkenlik, artık tabaka (residual layer), görsel muayene ve pasivasyon sonrası magnetit tabakası birlikte değerlendirilmelidir. Yeni kazanlarda alkali kaynatma ile buhar üfleme standart devreye alma paketini oluşturur; asit kimyasal yıkama OEM gereksinimi ve kir profiline göre eklenir.

Her proje öncesinde mutlaka kir profili analizi yapılmalıdır. Yağ/gres, mill scale, demir oksit ve mineral tortu oranlarının belirlenmesi, hangi aşamaların (flushing, alkali kaynatma, asit kimyasal yıkama, pasivasyon, buhar üfleme) gerekli olduğuna dair mühendislik kararının temelini oluşturur. Kir profili analizi olmadan yöntem seçimi yapılması, hem maliyet hem de ekipman güvenliği açısından kabul edilemez bir risktir.

Yöntem seçimi VGB-S-513 temizlik zinciri içinde, flushing ve buhar üflemeyle birlikte bütüncül olarak planlanmalıdır. Türkiye sahasındaki hız ve maliyet baskısı, kalite gereksinimlerinden ödün verilmesini değil; doğru kapsamın erken aşamada tanımlanmasını gerektirir.



6. Kaynaklar

Bu makale aşağıdaki birincil kaynaklara dayanmaktadır:

- VGB PowerTech e.V. (2014). VGB-S-513-00-2014-07-EN — Internal Cleaning of Water-Tube Steam Generating Plants and Associated Pipework. [Bölüm 5 Alkaline boil-out; Bölüm 6 Chemical cleaning; Bölüm 7 Steam blowing]
- Arthur Henrique Luqui (2017). Boiler Chemical Cleaning Procedures. [Alkaline vs acid reagents; inhibitor; hydrogen embrittlement]
- B&W Energy Services. What is Chemical Cleaning? / When should industrial boilers be chemically cleaned? [Pre-operational vs post-operational; boil-out vs acid cleaning]
- Valmet (2023). Magnetite Film Formation Program — Kipaş CFB Boiler Commissioning Document. [Magnetit tabaka oluşumu; pH > 8; T > 200°C]
- FFA Chemical Cleaning / Fineamin. Boiler Alkali Boil Out Procedure. [Organik alkalin alternatifler; monitoring parametreleri]

