

Kazan Suyu Kalite Değerleri ve Şartlandırma Rehberi

Kazan sistemlerinde su kalitesi, verimli ve güvenli işletme için kritik öneme sahiptir. İster sıcak su, ister kızgın su veya buhar kazanı olsun, suyun kimyasal özellikleri kontrol altında tutulmazsa kireçlenme, korozyon, çamur birikimi ve buhar sistemlerinde su sürüklenmesi gibi ciddi problemler ortaya çıkar. Aşağıda **sıcak su kazanları**, **kızgın su kazanları** ve **buhar kazanları** için ideal kazan suyu değerleri, bu değerlerin dışına çıkıldığında oluşabilecek problemler ve bu sorunların önlenmesi/çözümü için kullanılan su kimyasalları ve uygulamaları ayrı ayrı ele alınmıştır. Düşük ve yüksek basınçlı buhar kazanlarına ait farklı su kalite kriterleri de karşılaştırmalı olarak sunulmuştur.

Sıcak Su Kazanları (Kalorifer ve Sıcak Su Isıtma Sistemleri)

İdeal Su Kalitesi Değerleri: Sıcak su ile çalışan kapalı devre ısıtma kazanlarında su, yumuşak ve hafif alkalin olmalıdır. Temel hedef, kireç oluşumunu önlemek ve sistem metalleri için korozif olmayan bir ortam sağlamaktır. Yeni doldurma veya besleme suyu mutlaka yumuşatılmalı (sertlik giderilmiş) olmalı ve oksijen mümkün olduğunca uzaklaştırılmalıdır. Aşağıdaki değerler, tipik bir sıcak su ısıtma sistemi için istenen su özelliklerini gösterir:

- **pH:** Yaklaşık 9,0 – 10,5 aralığında olması idealdir[1]. Bu aralık, çelik gibi malzemelerde korozyonu minimuma indirir ve koruyucu manyetit tabakasının oluşumunu destekler. (Alüminyum alaşımlı ekipman varsa daha düşük pH gerekebilir, ör. ~8,5 civarı, çünkü yüksek pH alüminyum korozyonuna yol açabilir[2].)
- **Toplam Sertlik:** $< 5^{\circ}\text{F}$ (yaklaşık $< 50 \text{ mg/L CaCO}_3$) düzeyinde veya daha düşük olmalıdır. Pratikte, besleme suyunun tamamen yumuşatılmış olması (toplam sertlik ≈ 0) istenir. Yüksek sertlik, kalsiyum ve magnezyum tuzlarının birikmesiyle kireç taşı (kışır) oluşumuna sebep olur[3]. Bu nedenle kazan besleme suyu sertliği sıfıra yakın olacak şekilde su yumuşatma uygulanmalıdır.
- **İletkenlik ve TDS:** Kapalı ısıtma devrelerinde su buharlaşmadığı için iletkenlik değeri sabit kalır; ancak korozyonu hızlandırmamak için iletkenliğin makul seviyede olması önerilir (örneğin $< 500\text{--}1000 \mu\text{S/cm}$ aralığında, toplam çözünmüş madde (TDS) $< \sim 500 \text{ mg/L}$ gibi). Çok düşük iletkenlikli su (örneğin tamamen saf su) da karbondioksit çözünmesiyle pH'ı düşürüp korozyonu hızlandırabileceğinden, bir miktar tamponlayıcı mineral bulunması faydalı olabilir[4]. Yine de, **yüksek iletkenlikli su** da istenmez; yüksek TDS korozyon hücrelerini destekleyebilir ve çamur oluşumuna katkı yapabilir[5][6].
- **Alkalinite (M alkalinite):** Orta seviyede alkalinite yararlıdır. Örneğin $100\text{--}300 \text{ mg/L CaCO}_3$ toplam alkalinite, pH'ı tamponlayarak asit dalgalanmalarını önler. Çok düşük alkalinite pH'ın kontrolsüz düşmesine yol açabilir; çok yüksek alkalinite ise özellikle kapalı genleşme olmayan sistemlerde korozyon ve çamur riskini artırabilir.

- **Çözünmüş Oksijen:** İdeal olarak $\leq 0,1$ mg/L (mümkünse sıfıra yakın) olmalıdır. Kapalı ısıtma sistemine su doldurulduktan bir süre sonra içerideki serbest oksijen korozyonla tüketilir; bu süreç sonunda suyun rengi siyaha yakın olur ve artık oksijen kalmadığı anlaşılır[7][8]. İşletme esnasında yeni oksijen girişi engellenmelidir (ör. membranlı genleşme tankı kullanarak, sistem basıncını atmosfer üstünde tutarak). Gerekirse ilk doldurmada veya su takviyesinde sodyum sülfite gibi bir oksijen giderici kimyasal 5–10 mg/L dozunda eklenebilir[1].
- **Demir ve Bakır:** Demir $\leq 0,3$ mg/L, bakır $\leq 0,1$ mg/L gibi düşük konsantrasyonlar hedeflenmelidir. Yüksek değerler sistemde korozyon olduğunu gösterebilir. Özellikle kapalı devrede pH ≤ 7 olursa demir tamamen çözünür hale geçip hızla korozyon belirtisi olarak suya karışır[9][10].
- **Yağ ve Organik Madde:** Kazan suyunda yağ, gres gibi kirlilikler olmamalıdır (ideal ≤ 1 mg/L). Bu maddeler özellikle sıcak su kazanlarında çamurlaşmaya ve ısı transfer yüzeylerinde yalıtkan tabaka oluşturmaya neden olabilir.

Değerlerin Dışına Çıkılmasıyla Oluşabilecek Problemler: Sıcak su kazanlarında su kalitesi uygun tutulmazsa zamanla verim düşer ve ekipman ömrü kısalır. Önemli riskler şunlardır:

- **Kireçlenme (Kışır Oluşumu):** Suyun sert olması veya alkalinitesinin çok yüksek olması durumunda, sıcak yüzeylerde kalsiyum karbonat gibi tuzlar çökerek sert bir tabaka oluşturur[3]. Bu kışır tabakası ısı iletimini engeller, kazan verimini düşürür ve metal yüzeylerin aşırı ısınmasına yol açabilir. Özellikle bikarbonat sertliği (geçici sertlik) ısı etkisiyle parçalanarak karbonat şeklinde kireç birikimi yapar[11]. Sonuçta yakıt tüketimi artar ve borular aşırı ısınıp hasar görebilir.
- **Korozyon:** İki temel korozyon tipi gözlenir: **Oksijen korozyonu** ve **asit (düşük pH) korozyonu**. Oksijen korozyonu, suda çözünmüş O_2 gazının metal yüzeylerde paslanmaya yol açmasıdır; özellikle su ilaveleriyle sisteme giren oksijen, sıcak noktalarda lokal çukurcuk korozyon (pitting) yapabilir[12][13]. Düşük pH (asit) korozyonu ise suyun asidik olması (pH < 7) halinde demir ve bakır alaşımlarının hızla çözünmesidir[14][15]. Bu durum tesisatta sızıntılara, radyatör ve borularda incelmeye neden olur. Yüksek pH ($> \sim 10.5$) durumunda ise, özellikle alüminyum veya galvanizli parçalar varsa **kostik korozyon** (kostik çatlama) görülebilir[14][2].
- **Çamur ve Tortu Birikimi:** Suda askıda katı madde, korozyon ürünleri (pas parçacıkları) veya çöken kimyasal kalıntıları zamanla çamur haline gelip kazan ve boru diplerinde toplanabilir. Bu yumuşak tortular su devresinde tıkanmalara, sirkülasyon problemlerine ve lokal sıcak noktalarda birikerek korozyonu hızlandırmaya yol açar[16][17]. Ayrıca tortuların birikmesiyle suyun bulanıklığı artar, sisteme hava cepleri oluşabilir.
- **Bakteriyel Büyüme:** Özellikle uzun süre düşük sıcaklıkta kalan veya durgun kalan kapalı devrelerde biyofilm oluşumu ve mikroorganizmaların (ör. sülfat indirgeyen bakteriler) üremesi korozyonu tetikleyebilir[18][19]. Bu durum genelde sıcak su kazanlarında nadirdir çünkü sıcaklık yüksektir; ancak sistem duruşlarında veya soğutma devrelerinde oluşabilir.

Önleme ve Çözümler – Su Kimyasalları ve Uygulamaları: Sıcak su kazanlarında yukarıdaki sorunları önlemek için uygun su şartlandırma kimyasalları ve yöntemleri kullanılır:

- **Yumuşatma (Sertlik Giderimi):** İlk dolumda ve gerektiğinde sistem suyu, iyon değiştirme prensibiyle çalışan **su yumuşatma cihazlarından** geçirilerek kalsiyum ve magnezyum iyonları uzaklaştırılmalıdır. Böylece sertlik kaynaklı kışır oluşumu engellenir. Tamamen yumuşatılmış su kullanımı en idealidir; ancak bazı durumlarda aşırı saf suyun korozyon olabileceği göz önünde bulundurularak besi suyunda çok düşük de olsa (örneğin birkaç ppm düzeyinde) sertlik bırakılmasının suyun pasivasyonuna katkı sağlayabileceği düşünülür[4]. Yine de genel kural, **kazan besi suyuna giren sertliğin sıfıra yakın olması** ve kireç yapıcı iyonların kazan içinde kimyasal yolla bağlanmasıdır.
- **Oksijen Giderimi:** Kapalı devrelerde ideal olarak mekanik yöntemlerle (örn. membranlı genleşme tankı, hava purjörleri) oksijen girişi engellenir. Buna ek olarak, doldurma veya takviye suyuna kimyasal oksijen tutucular ilave edilebilir. **Sodyum sülfid (Na_2SO_3)** düşük sıcaklıklarda hızlı etki gösteren bir oksijen giderici olup genellikle 5–10 mg/L dozajlarda kullanılır[1]. Sülfid, çözünmüş oksijenle reaksiyona girerek sülfat oluşturur ve oksijeni zararsız hale getirir. Alternatif olarak **hidrazin** veya daha çevreci modern türevleri (ör. DEHA, karbonilhidrazonlar) de kullanılabilir; fakat hidrazin genellikle daha yüksek sıcaklıklı buhar sistemlerinde tercih edilir.
- **Korozyon İnhibitörleri:** Kapalı ısıtma devrelerinde korozyonu önlemek için suya çeşitli inhibitör kimyasallar eklenir. **Sodyum nitrit (NaNO_2)** bazlı inhibitörler, çelik yüzeylerde koruyucu bir oksit tabakası (Fe_3O_4) oluşturarak oksijen korozyonunu engeller. Genellikle 800–1500 ppm arası nitrit (ppm olarak NO_2^-) seviyesi hedeflenir. **Sodyum molibdat (Na_2MoO_4)** da benzer şekilde anodik inhibitör olarak kullanılır; çoğu zaman nitrit ile kombine edilerek koruma güçlendirilir[20][21]. **Organik tanenler** veya **silikat bazlı** inhibitörler de seçenekler arasındadır[22]. Bu kimyasallar metal yüzeyinde ince bir koruyucu film tabakası oluşturarak pasifizasyon sağlar. Bakır ve pirinç alaşımlarının koruması için suya ilave **azol bileşikler** (ör. benzo-triazol, tolyltriazol) eklenmesi de yaygındır; bunlar özellikle sarı metalleri korozyondan korur[23]. İnhibitör dozajı sistem su hacmine göre hesaplanır ve belirli aralıklarla test kitleri ile takibi yapılır (ör. nitrit konsantrasyonu düzenli ölçülerek istenen aralıkta tutulur).
- **pH Düzenleyiciler:** Suyun pH'ını hedef aralıkta tutmak korozyonu önlemede kritik olduğu için gerektiğinde pH ayarlayıcı kimyasallar kullanılır. pH düşük ise **kostik bazlar** (ör. seyreltik sodyum hidroksit veya trisodyum fosfat) ilave edilerek pH yükseltilir. Örneğin Dalkim firması, kapalı sistem pH'ını yükseltmek için NaOH bazlı “alkalinite oluşturucu” bir ürün (DC 2339) önermektedir[24][25]. Eğer pH çok yüksek ve alüminyum gibi malzemeler için riskli ise, özel asit bazlı tamponlar veya kısmi su deşarjı ile pH düşürülür (bazı durumlarda düşük pH gerektiren sistemler için formüle edilmiş inhibitör karışımları da vardır). Örneğin alüminyumlu sistemlerde

pH'ı ~7,5-8,0 civarına çekmek için Dalkim DC 2346 gibi bir asidik düzenleyici kullanılabilir[26][27].

- **Çamur Dağıtıcılar ve Temizlik:** Zamanla oluşabilecek tortu ve çamuru sistemden uzaklaştırmak veya askıda tutmak için polimerik dağıtıcı kimyasallar kullanılır. Bu kimyasallar (ör. akrilik polimer bazlı şartlandırıcılar) kireç ve pas parçacıklarını ince süspansiyon halinde tutarak çamur haline gelip yüzeylere yapışmasını engeller. Örneğin DC 350 gibi **polimer çamur şartlandırıcılar**, demir oksit gibi tortuları dispers halde tutarak filtrasyonla veya deşarjla atılmasını kolaylaştırır[28]. Belirli periyotlarda sistem suyunun bir kısmının boşaltılıp temiz su ve kimyasal ile yenilenmesi (flush) de çamur birikimini kontrol altında tutar.
- **Filtrasyon ve Bakım:** Kapalı devre suyu belirli bir bulanıklık altında tutulmalıdır. Sirkülasyon hattına **yan akış filtreleri** (by-pass hat üzerine kum filtresi, manyetik tortu tutucu vs.) konularak dolaşımdaki pas ve tortular yakalanabilir[16][17]. Ayrıca sistemin ilk devreye alınmasından önce kimyasal temizleme (asidik veya alkali yıkama) yapılarak üretim kalıntıları ve korozyon ürünleri temizlenmelidir. Düzenli olarak su analizleri yapılarak pH, nitrit, demir gibi parametreler takip edilmeli; sapma varsa hemen düzeltici kimyasal dozajlar uygulanmalıdır. Bu proaktif bakım, kazan ve tesisat ömrünü uzatır ve beklenmedik arızaları önler.

Kızgın Su Kazanları (Yüksek Sıcaklıklı Sıvı Fazlı Su Kazanları)

Kızgın su kazanları, suyun basınç altında 100°C üzerindeki sıcaklıklara ısıtıldığı sistemlerdir (örneğin 120–180°C sıcak su elde etmek için). Temel olarak kapalı devre sıcak su sisteminin daha yüksek sıcaklık ve basınçta çalışan versiyonlarıdır. Bu nedenle, **kızgın su kazanlarında su kalitesi kriterleri sıcak su kazanlarına benzer**, ancak çalışma şartlarının daha zorlu olması nedeniyle bazı parametrelerde daha sıkı kontrol gerekebilir. Yüksek sıcaklıklarda korozyon hızları arttığından ve olası bir su kaçağı durumunda ani buharlaşma riski olduğundan, bu sistemlerde suyun saflığı ve gaz içeriği çok kritik hale gelir.

İdeal Su Kalitesi Değerleri: Kızgın su kazanlarında su, tamamen yumuşatılmış veya tercihen demi (demineralize) su kalitesinde olmalıdır. Aşağıdaki değerler hedeflenir:

- **pH:** Yaklaşık 9,5 – 10,5 aralığında tutulur. Yüksek sıcaklıkta çelik yüzeylerin pasif kalması için hafif bazik pH gereklidir. Ancak ısıtma sisteminde alüminyum parça varsa bu dikkate alınmalıdır (alüminyum için genelde pH < 9 önerilir). Genel olarak kızgın su devrelerinde **pH ~10 civarı** ideal kabul edilir.
- **Toplam Sertlik: 0** (sıfıra yakın) olmalıdır. Bu sistemlere beslenen su mutlaka önceden yumuşatılmalı veya demi-su hazırlanmalıdır. Yüksek sıcaklıklarda kalsiyum-tuz çökmesi daha da hızlı olabileceği için, sertlik yapıcı iyonlar kesinlikle kazana sokulmamalıdır.
- **İletkenlik ve TDS:** İletkenlik mümkün olduğunca düşük olmalıdır (örneğin < 200–300 µS/cm gibi) çünkü yüksek sıcaklıkta iletken tuzların aşındırıcı etkisi artar. Demi su kullanıldığında besi suyu iletkenliği genelde < 20 µS/cm civarında olacaktır; sistem kapalı devre olduğu için işletme sırasında bu değer biraz yükselebilir fakat

genelde $\leq 1000 \mu\text{S/cm}$ civarı sınır kabul edilebilir. İletkenliği düşük tutmak, yüksek sıcaklıklarda oluşabilecek korozyon hücrelerini ve iyonik akımları azaltır.

- **Alkalinite:** Orta düzeyde alkalinite (ör. 50–200 mg/L CaCO_3) yeterlidir. Alkalinite pH'ı tamponlar ve CO_2 oluşumunu kontrol eder. Ancak çok yüksek alkalinite (>300 mg/L) kızgın su sistemlerinde **kostik kırılma** riskini artırabileceğinden tavsiye edilmez.
- **Çözünmüş Oksijen:** Oksijen sınırı çok daha düşük olmalıdır – ideal olarak $\leq 0,02\text{--}0,05$ mg/L aralığında (yani 20–50 ppb) olması hedeflenir[29]. Yüksek sıcaklıklarda oksijen korozyonu son derece hızlı ve tehlikeli olduğundan, genellikle kızgın su sistemlerinde **termal degazör** kullanılarak su önceden ısıtılma tabi tutulur. Degazörde su 100°C üzeri sıcaklığa (ör. $\sim 105^\circ\text{C}$) kadar ısıtılarak O_2 ve CO_2 'ün büyük kısmı giderilir[30][31]. Ardından suya gerektiğinde kimyasal oksijen gidericiler eklenir.
- **Silika (SiO_2):** Silis içeriği mümkün olduğunca düşük olmalıdır (tercihen ≤ 1 mg/L mertebesinde). Kızgın su kazanları tipik olarak buhar üretmez; ancak su kaçaklarında buharlaşma olursa silis taşıyabilir. Ayrıca silika, kireç oluşumunda katkı yapabilir (kalsiyum silikat gibi sert ölçekler)[32][33]. Demi su kullanımıyla besi suyunda silika genelde $< 0,02$ mg/L seviyelerine indirilebilir.

Değerlerin Dışına Çıkılmasıyla Oluşabilecek Problemler: Kızgın su kazanlarında suyun istenen şartları kaybetmesi, sıcak su kazanlarındaki problemlerin aynısını daha şiddetli biçimde ortaya çıkarabilir:

- **Kireçlenme ve Birikinti:** Yüksek sıcaklıklarda suyun içerisinde çözünmüş tuzların çözünürlüğü azalır; dolayısıyla sertlik veya silis gibi safsızlıklar hızla çökeliş boru yüzeylerine yapışabilir[11][32]. Kızgın su sistemlerinde oluşan kışır tabakaları çok sert ve inatçı olabilir, ısı transferini ciddi oranda düşürür. Kızgın su kazanlarında kireçlenme, suyun aşırı ısınarak lokal kaynamalara ve malzeme hasarına yol açabilir.
- **Yüksek Sıcaklık Korozyonu:** Oksijen varlığı halinde korozyon reaksiyonları sıcaklıkla hızlandığından, herhangi bir O_2 sızıntısı çok kısa sürede derin çukurcuk korozyonuna neden olabilir. Ayrıca yüksek sıcaklıklarda pH yüksek bile olsa karbon çeliklerinde **yüksek sıcaklıkta hidrojen gevrekleşmesi** veya **kostik korozyonu** gibi sorunlar görülebilir (örneğin konsantre alkali bölgeleri oluşursa). Eğer suyun pH'ı kontrolsüz kalırsa, asidik veya çok bazik koşullar altındaki korozyon, kızgın su devrelerinde hızlı metal kaybına ve çatlaklara sebep olabilir.
- **Termal Şok ve Çatlama:** Kireçlenme veya korozyon nedeniyle zayıflayan borular, kızgın su sistemlerinde ani yük değişimlerinde veya soğuk su şoku durumlarında çatlayabilir. İç yüzeyde birikmiş bir tabaka varsa, o bölgeye ısı transferi azalır ve metal aşırı ısınır; basınç altında bu bölgeler çatlama riski taşır (özellikle **kostik embrittlement** denilen alkali kaynaklı tanelerarası çatlaklar).
- **Çamur ve Tıkanma:** Korozyon ürünü tortuların çamur haline gelmesi ve dar kesitli kanallarda birikmesi, yüksek sıcaklıklı su devrelerinde dolaşımı kısıtlar. Kızgın su

devreleri genelde pompalı olduğu ve su viskozitesi sıcaklıkla düştüğü için akış kolaydır; ancak biriken çamur, vana ve boru diplerinde tortu tıkaçları oluşturarak akışı engelleyebilir. Bu hem ısı dağılımını bozar hem de korozyonu lokalize ederek hızlandırır.

Önleme ve Çözümler – Su Kimyasalları ve Uygulamaları: Kızgın su sistemlerinde de sıcak su sistemlerindeki şartlandırma yöntemleri uygulanır, ancak daha yüksek sıcaklık ve basınca uygun kimyasallar seçilir:

- **Su Kalitesinin Ön Arıtımı:** Kızgın su kazanlarında çoğunlukla **demineralizasyon** veya ters ozmoz gibi ileri arıtma teknikleri kullanılarak make-up (takviye) su hazırlanır. Yalnızca yumuşatma yapılan (sadece sertlik giderilmiş) su yerine, iletkenliği düşürülmüş su kullanmak, yüksek sıcaklıkta birikinti riskini azaltır. Ayrıca termal degazör kullanımı neredeyse şarttır – degazör, suyu ısıtarak O₂ ve CO₂'yi giderdiği için kimyasal ihtiyacını da azaltır. Degazörde genellikle suyun içindeki çözünmüş oksijen 0,02 mg/L'nin altına düşürülür[30][29].
- **Oksijen Giderici Kimyasallar:** Degazör sonrası bile suda eser miktarda kalabilecek oksijeni yakalamak için kazana giriş noktasında kimyasal oksijen tutucular dozlanır. Kızgın su kazanlarında genellikle **hidrazin** veya modern organik oksijen tutucular tercih edilir, çünkü sodyum sülfid yüksek sıcaklıklarda parçalanıp korozif etki bırakabilir. **Hidrazin (N₂H₄)**, ısı ile ayrışarak amonyak ve azot gazı oluşturur; amonyak suyun pH'ını hafif yükseltip korozif CO₂'yi nötralize ederken, hidrazin de oksijenle reaksiyona girip su ve nitrojene dönüşür. Hidrazin hedef değeri düşük basınçlı kazanlarda 0,1–0,3 ppm iken, yüksek basınçlı sistemlerde 0,05–0,1 ppm gibi daha düşük seviyeler yeterli görülür[34][35]. Hidrazin toksik olduğu için kullanımı dikkat ve takip gerektirir; bu nedenle günümüzde **sodyum metabisülfid, DEHA, karbonhidrazid, erythorbid** gibi daha güvenli kimyasallar da devreye alınmıştır.
- **Korozyon ve Kireç İnhibitörleri:** Kızgın su devrelerinde, eğer sistemde farklı metaller (ör. çelik ve bakır) varsa, bunların galvanik korozyonunu engellemek için uygun inhibitörler kullanılır. Nitrit-molibdat bazlı inhibitörler burada da etkilidir (nitrit ısıl kararlılığını korur çünkü su buharlaşmıyor). Ayrıca **organik fosfonat** veya polimer bazlı katkıları kullanılarak suyun içerdiği kireç yapıcı iyonlar komplekslenir; böylece herhangi bir sertlik kalıntısı varsa bile kristal yapı oluşturamaz ve çökelmez. Örneğin **fosfat bazlı** şartlandırma genelde buhar kazanlarında kullanılır; kızgın su kazanlarında ise tercihen nitrit/molibdat ve azol karışımları tercih edilir, zira fosfatın yarattığı çamur buhar yoksa sistemde kalabilir. Eğer besi suyu tamamen demi ise, kireçlenme potansiyeli düşük olacağından esas odak korozyon inhibitörlerinde olur.
- **pH ve Alkalinite Kontrolü:** Kızgın su sistemleri, yüksek sıcaklık nedeniyle pH dalgalanmalarına karşı daha hassastır. Bu nedenle suyun pH'ı periyodik ölçülmeli ve 9-10 aralığında kalması sağlanmalıdır. Degazör sonrası suyun doğal alkalinitesi düşük kalabilir, bu durumda hafif bir alkalinite yükseltici (ör. soda külü veya trisodyum fosfat küçük dozlarda) eklenerek pH tamponlanır. Ancak pH 10'u aşmamalıdır ki yüksek ısıda kostik gevrekleşme riski oluşmasın.

- **Deşarj (Blöf) ve Su Yenileme:** Kızgın su kazanları kapalı devre olduğu için sürekli blöf ihtiyacı yoktur; fakat eğer su kalitesinde bozulma belirtileri varsa (örneğin iletkenlik yükselmesi, inhibitör seviyesinde düşüş, metal korozyon ürünlerinde artış), kontrollü bir şekilde suyun bir kısmı boşaltılıp taze şartlandırılmış su ilave edilebilir. Bu işlem, istenmeyen birikmiş iyonları sistemden uzaklaştırır ve kimyasal dengesini tazeler.
- **İzleme ve Analiz:** Kızgın su sistemlerinde güvenli işletme için düzenli su analizi ve ekipman kontrolü yapılır. Kazan suyu numunesi almak için özel **numune soğutucuları** kullanılır (basınçlı ve 180°C'ye varan suyu doğrudan ölçüm cihazına alamayız, önce küçük bir akışla soğutulur)[36]. Haftalık/aylık olarak pH, iletkenlik, alkalinite, nitrit, demir, bakır analizleri yapılır. Ayrıca yılda en az bir defa sistem suyu kimyasal temizleme gerektiriyorsa (mesela başlangıçta veya büyük bakım sonrası) bunu uzman ekipler yapmalıdır. Bu proaktif izleme sayesinde, su kalitesi sınır değerlerden sapmadan müdahale edilebilir ve kızgın su kazanlarının uzun ömürlü ve sorunsuz çalışması temin edilir.

Buhar Kazanları (Düşük ve Yüksek Basınçlı)

Buhar kazanlarında su, yüksek sıcaklıkta buhar fazına dönüştürüldüğü için su kalitesi çok daha katı standartlara bağlanmıştır. Özellikle yüksek basınçlı buhar kazanlarında, besi suyundaki en ufak safsızlık dahi buharla sürüklenerek türbin veya proses ekipmanlarında birikintilere yol açabilir. **Buhar kazanları**, işletme basıncına göre genellikle düşük basınç (ör. < 10–15 bar), orta basınç (15–40 bar) ve yüksek basınç (> 40 bar) gibi kategorilere ayrılır. Basınç yükseldikçe kabul edilebilir su kimyası aralıkları daralır ve su şartlandırma yöntemleri değişir. Aşağıda düşük ve yüksek basınçlı buhar kazanlarına ait ideal su değerleri karşılaştırmalı olarak verilmiştir:

Düşük vs. Yüksek Basınçlı Buhar Kazanlarında İdeal Su Değerleri

Parametre	Düşük/Orta Basınçlı (ör. ≤ 20 bar)	Yüksek Basınçlı (ör. ≥ 40–60 bar)
Besi Suyu pH (25°C)	> 9,2 (besleme suyunda hafif bazik)[37]	~8,5–9,2 (yüksek basınçlarda besi suyunda daha nötr)[38] (not)
Kazan Suyu pH	10,5 – 12 arası (düşük basınçta daha yüksek pH tercih edilir)[37]	~9,0 – 10,5 arası (basınç arttıkça pH hedefi düşer, aşırı kostik ortam sakıncalı)[39]
Toplam Sertlik	< 0,01 mmol/L (≈ < 0,5 ppm CaCO ₃) – pratikte “0” olmalı[40]	< 0,01 mmol/L – pratikte “0” (demineralize su beslemesi)[40]
İletkenlik (Kazan Suyu)	< 6000 µS/cm (yumuşatılmış suyla çalışmada)[41][42]; RO/demineralize su kullanılırsa < 1500 µS/cm[43][44]	< 1000 µS/cm (orta basınçlarda); Çok yüksek basınçlı güç santrallerinde < 100 µS/cm

Parametre	Düşük/Orta Basınçlı (ör. ≤ 20 bar)	Yüksek Basınçlı (ör. $\geq 40-60$ bar)
		veya daha düşük (demineralize su ile, minimum blöf)[41][45]
Çözünmüş O_2 (besi suyu)	$< 0,05$ mg/L (50 ppb) – termik degazör ile genellikle sağlanır[29]	$< 0,02$ mg/L (20 ppb) veya daha az – yüksek basınç için daha katı, kimyasal/termik kombinasyon şart[46][47]
Toplam Alkalinite (p + m)	(M alkalinite) 1 – 15 mmol/L besi suyunda; kazan suyunda p-alk $< \sim 300$ ppm $CaCO_3$ (düşük basınç toleransı)[48][49]	p-alkalinite $< \sim 100$ ppm $CaCO_3$ (yüksek basınçta düşük tutulur)[48][49]; yüksek basınçlı kazanlarda besi suyu genelde dealkalize edilir (düşük CO_3^{2-} için).
Silika (SiO_2) (Kazan Suyu)	$< \sim 150-160$ mg/L (düşük-basınç toleransı)[50]; Türbin yoksa bu seviyeler tolere edilebilir.	Basınca göre çok düşük: ör. 20 bar için $< \sim 50$ mg/L; 60 bar için $< \sim 5$ mg/L; 100 bar için $< \sim 0,02$ mg/L (silisin buhar fazına geçişi nedeniyle çok sıkı kontrol)[46][51].
Klorür (Cl^-) (Kazan Suyu)	< 300 ppm (düşük basınç)[52][53]; orta basınçta ~ 100 ppm	< 50 ppm (yüksek basınç)[52][53]; mümkünse < 20 ppm – klorür korozyonu riski nedeniyle düşük tutulur.
Fosfat (PO_4^{3-}) (Kazan Suyu)	20–40 ppm (aktif ortofosfat, düşük/orta basınçta kireç önleyici olarak)[54][55]	5–10 ppm (yüksek basınçta fazla fosfat birikinti yapabileceğinden düşük doz)[56][57]; > 60 bar üzerinde bazı sistemlerde fosfat beslemesi bile yapılmaz (all-volatile treatment uygulanır).

(Not: Yüksek basınçlı sistemlerde besi suyu pH'ı, amin bazlı nötralizasyon ile yaklaşık 8,5–9 civarında tutulur. Buharlaşma sırasında kazan suyu pH'ı istenen değere çıksa da, kondensattaki pH'ı kontrol etmek amacıyla besi suyuna amonyak veya uçucu aminler dozlanır. Örneğin 60+ bar'lık bir kazan besi suyunda oda sıcaklığında pH $\sim 8,5$ yeterli görülür, çünkü sıcaklık arttıkça suyun gerçek alkaliliği artacaktır.)

Yukarıdaki tablo, genel bir karşılaştırma sunmaktadır. Görüldüğü üzere düşük basınçlı kazanlar su kalitesi konusunda daha toleranslı iken, yüksek basınçlı kazanlarda su neredeyse **tamamen saf** ve kimyasal olarak nötr hale getirilmiş olmalıdır. Örneğin düşük

basınçta kazan suyunun iletkenliği 6000 $\mu\text{S}/\text{cm}$ 'ye kadar çıkabilirken, yüksek basınçlı güç santrali kazanlarında iletkenlik 100 $\mu\text{S}/\text{cm}$ 'in altında tutulur[41][45]. Benzer şekilde düşük basınçta 300 ppm klorür tolere edilebilirken, yüksek basınçta 50 ppm'i aşmaması istenir[52]. Silika ise düşük basınçta buhar türbini yoksa 100+ mg/L seviyelerine kadar sorun yaratmayabilir; ancak yüksek basınçta buharla sürüklenen silis camımsı bir tabaka halinde türbin kanatlarında birikip ciddi verim ve balans sorunlarına yol açabilir[46][58]. Bu nedenle çok yüksek basınçlarda besi suyu demineralize edilirken silis de ayrı bir adımda giderilir (ör. karışık yataklı iyon değiştiriciler veya elektro-deiyonizasyon ile).

Değerlerin Dışına Çıkmasıyla Oluşabilecek Problemler: Buhar kazanlarında su kalitesi limitleri aşıldığında görülen başlıca sorunlar şunlardır[59]:

- **Kireçlenme (Taş / Kışır Oluşumu):** Besi suyundaki sertlik giderimi yetersiz ise veya kazan suyu içinde sertlik oluşturan iyonlar birikirse, bunlar buharlaştıktan sonra kazanda kalır ve çözünürlük sınırını aştığında boru ve kazan yüzeylerine taş gibi sert tabakalar halinde çöker. En yaygın ölçek, kalsiyum karbonat (CaCO_3) ve kalsiyum sülfattır (CaSO_4). Ayrıca silis varlığında kalsiyum silikat (CaSiO_3) gibi son derece sert ve camlaşmış bir kışır oluşabilir[32][33]. Bu birikintiler ısı transferini engeller, kazan metalinin aşırı ısınmasına sebep olur ve yakıt tüketimini artırır. Yüksek basınçlı kazanlarda 2 mm kalınlığında bir kireç tabakası bile ciddi tehlike arz eder, zira ısı transferini drastik biçimde düşürür. Kışır tabakası altındaki metal, aşırı sıcaklık nedeniyle mekanik mukavemetini kaybedip patlamalara yol açabilir.
- **Korozyon (Oksijen ve CO_2 Kaynaklı):** Besi suyunda veya kondensatta çözünmüş oksijen ve karbondioksit bulunması, ciddi korozyon problemleri doğurur. **Oksijen korozyonu**, özellikle ekonomizer ve kazan tamburu gibi bölgelerde pitting (çukurcuk) yaparak kısa sürede sızıntılara ve saç deliklerine neden olabilir. Bu durum, degazör kullanılmaması veya oksijen tutucu kimyasal dozajının yetersiz olmasından kaynaklanır. Yüksek basınçlı kazanlarda dahi, eğer az miktarda oksijen kalırsa çok hızlı bir şekilde çelik yüzeylerde oyuklar açabilir. **Karbondioksit** ise buharla hatlara taşınır ve yoğunlaşınca karbonik asit oluşturur; **asidik kondensat korozyonu** özellikle buhar-kondens hatlarının iç yüzeylerini çepeçevre aşındırır. Düşük pH'lı (asit) kondens, boruları ve özellikle demir + bakır alaşımlarını hızla inceltir. Bu iki gaz kaynaklı korozyon türü, zamanla kazanın ömrünü kısaltır ve tesisat genelinde deliklere yol açar.
- **Kostik Korozyon (Kostik Kırılma):** Bu problem, kazan suyunda çok yüksek hidroksit alkaliliği (genelde yerel olarak $\text{pH} > 12.5$) oluştuğunda görülür. Özellikle kazan borularının su seviyesi civarında, buharlaşma ilerledikçe kalan sudaki kostik soda konsantrasyonu artabilir. Yeterli fosfat yoksa veya dengesiz bir fosfat beslemesi varsa, serbest NaOH birikerek metalin taneleri arasına nüfuz eder ve **kostik çatlaklar** oluşturur. Yüksek basınçlı kazanlar bu tür stres-korozyon çatlaklarına daha duyarlıdır. Kostik kırılma sonucu borularda ani fail'ler (patlamalar) olabilir. Bu nedenle yüksek basınçlı kazanlarda NaOH doğrudan dozajı genellikle yapılmaz, sadece kontrollü fosfat ve uçucu aminlerle pH yönetilir.

- **Köpürme ve Taşınma (Priming/Carryover):** Kazan suyunda yüksek TDS, yüksek alkalinite, yağ/kir veya ani yük değişimleri varsa, su buharlaşırken buhar kabarcıkları anormal şekilde büyüüp patlamadan su damlacıklarıyla birlikte buhar fazına geçebilir (**köpüklenme** ve **sürüklenme**). Bunun sonucunda “ıslak buhar” oluşur; buharla birlikte su damlacıkları hatta çözünmüş tuzlar hatlara taşınır[59][60]. Düşük basınçlı kazanlarda bile taşıntı varsa buhar kullanan ekipmanlarda su çekiçlemesi, erozyon ve ürün kalitesi sorunları görülür. Yüksek basınçlı kazanlarda ise sürüklenme sonucu türbine su/tuz gelirse kanatlarda birikinti ve dengesizlik yapar, ayrıca ciddi mekanik hasara yol açabilir. Köpürme genelde kazan suyunun çok kirli veya aşırı kimyasal yüklü (yüksek katı madde) olmasından kaynaklanır.
- **Çamur Birikimi:** Kazan içinde kireçlenme kontrolü için kullanılan fosfat, kalsiyum ve magnezyumla reaksiyona girip yumuşak çamur oluşturur ($\text{Ca}_3(\text{PO}_4)_2$ gibi). Ayrıca suya giren herhangi bir kir (ör. kondens hattından gelen demir oksitler) kazan dibinde çamur olarak birikir. Bu çamurlar düşük basınçlı kazanlarda dibinde toplanır ve arada yüzeyel temizlik gerektirir; yüksek basınçlı kazanlarda ise borular içinde akışı kısıtlayıp lokal sıcak noktalara sebep olabilir. Çamur birikimi ısı transferini aksatır ve korozyon hücrelerine yataklık eder. Eğer blöf ile yeterince atılmazsa, zamanla sertleşip ikinci bir kışır tabakası gibi davranabilir.
- **Diğer Problemler:** Buhar kazanlarında su kalitesi bozulduğunda görülebilecek diğer sorunlar arasında **boru şişmesi/metal yorgunluğu** (aşırı ısıdan dolayı), **valf ve kondenstop arızaları** (kirli buharın tortu bırakmasıyla), **buhar tuzu atma** (ör. kazan suyunda tuzluluk çok yüksekse buharın bileşiminde istenmeyen tuzlar çıkabilir) sayılabilir. Yüksek basınçlı sistemlerde besi suyunda bakır olmamasına dikkat edilir; zira bakır alaşımlı kondens hatlarından gelen bakır, kazan içinde birikerek yüksek sıcaklıkta ergiyik bakır çamuru şeklinde korozyona neden olabilir (hidrojen kıvılcımı korozyonu denilen problem).

Önleme ve Çözümler – Su Kimyasalları ve Uygulamaları: Buhar kazanlarında yukarıda belirtilen problemlerin engellenmesi için kapsamlı bir su şartlandırma programı yürütülür. Bu program, **kazan dışı arıtma (external treatment)** ve **kazan içi şartlandırma (internal treatment)** adımlarından oluşur:

- **Kazan Dışı (External) Su Arıtma:** Amaç, kazana girecek besi suyunu mümkün olan en saf hale getirmektir. Temel işlemler şunlardır:
- **Filtrasyon:** Ham sudaki askıda katı maddelerin filtrelerle tutulması (kum filtresi, mikrofiltrasyon vb.). Bu, tortu ve çamur oluşumunu önleyen ilk adımdır.
- **Yumuşatma:** İyon değiştirme yöntemiyle ham sudaki Ca^{2+} ve Mg^{2+} iyonlarının Na^+ ile değiştirilmesi. Sonuçta toplam sertlik sıfıra yakınlanır (yumuşak su elde edilir)[61][62]. Bu işlem, düşük ve orta basınçlı kazanlar için genellikle yeterlidir; ancak suyun iletkenliği pek değişmediği için yüksek basınçlı sistemler için tek başına yeterli olmayabilir[63][64].
- **Dealkalizasyon:** Suyun alkalinitesini (bikarbonat içeriğini) düşürmek için anyon değiştiriciler veya asit dozajı kullanılması. Bu sayede su ısıtıldığında CO_2 çıkışı azalır, kondensat korozyonu kontrol altına alınır.

- **Ters Ozmoz (RO) / Demineralizasyon:** Yüksek basınçlı ve hassas sistemlerde, su yumuşatmayı takiben RO membranlarından geçirilerek veya karışık yataklı iyon değiştiricilerle tüm anyon-kasyonlar uzaklaştırılarak **demineralize su** elde edilir. RO ile suyun iletkenliği genelde 10–30 $\mu\text{S}/\text{cm}$ seviyesine, tam demineralizasyonla 1–2 $\mu\text{S}/\text{cm}$ seviyesine kadar indirilebilir[45][65]. Bu işlem sudaki silis dahil tüm tuzları %99+ oranında giderdiğinden, yüksek basınçlı kazanların vazgeçilmezidir.
- **Termal Degazör:** Besi suyu, kazana girmeden önce genellikle **degazör tankında** ısıtılarak gazlarından arındırılır. Tipik bir degazörde su $\sim 105^\circ\text{C}$ 'ye kadar ısıtılıp bir süre bekletilir ve bu sayede çözünmüş $\text{O}_2 < 0,02\text{--}0,05 \text{ mg/L'ye}$, CO_2 ise $< 1 \text{ mg/L'ye}$ düşürülür[30][31]. Degazörden çıkan su, mümkünse ısını koruyarak besi suyu tankına alınır.
- **Kimyasal Dozaj Ekipmanları:** Arıtılmış su, besi suyu tankından kazana giderken hat üzerinde dozaj pompalarıyla kimyasallar eklenir. Örneğin oksijen giderici, fosfat, amin gibi kimyasalların kontrollü beslenmesi için dozaj pompaları ve bunları yöneten kontrolörler (iletkenlik/pH bazlı) kullanılır.
- **Kazan İçi (Internal) Kimyasal Şartlandırma:** Kazan içinde hala mevcut olabilecek istenmeyen safsızlıkları zararsız hale getirmek ve koruyucu bir kimyasal ortam oluşturmak için çeşitli kimyasallar kullanılır:
- **Fosfat Şartlandırması:** Düşük ve orta basınçlı buhar kazanlarında en yaygın yöntemlerden biridir. **Trisodyum fosfat (Na_3PO_4)** veya benzeri fosfat tuzları kazana dozlanarak, suya giren sertlik iyonlarıyla reaksiyona girmesi sağlanır. Fosfat, Ca^{2+} ile çözünmez kalsiyum fosfat (hidroksiapatit benzeri yumuşak çamur) oluşturarak kireç taşını önler[66][67]. Ayrıca fosfat, kazan suyunun pH'ını hafif alkalın tarafa tamponlar (Na_3PO_4 , hidrolizle NaOH vererek pH ~ 10 civarında sabitler). Fosfat miktarı sürekli izlenir; örneğin düşük basınçta 20–40 ppm ortofosfat yeterli iken yüksek basınçlarda 5–10 ppm seviyesine düşürülür[56]. Fazla fosfat birikimi varsa blöf yapılarak seviye ayarlanır[54][55]. Yüksek basınçlı modern kazanlarda bazen “fosfat yok” (OT: all volatile treatment) yaklaşımı benimsenip fosfat dozajı tamamen kesilir, çünkü fosfatın kendi katısı bile taşınma yapabilir. Fosfat şartlandırmasında dikkat edilmesi gereken bir nokta da, uygun Na/ PO_4 oranının korunmasıdır (koordinat fosfat programı). Serbest NaOH oluşmaması için belirli pH aralığında çalışma sağlanır.
- **Oksijen Tutucular:** Kazan içinde devam eden korozyonu engellemek için, degazörde alınamayan son oksijen kalıntısı kimyasal olarak tutulur. Düşük basınçlı kazanlarda **sodyum sülfid (Na_2SO_3)** yaygın kullanılırken, ısı verimi üzerinde olumsuz etkisi olabileceğinden (sülfid reaksiyonu ekzotermiktir) ve fazla dozda katı birikimi yapabileceğinden yüksek basınçlı kazanlarda **hidrazin (N_2H_4)** veya uçucu organik scavenger'lar tercih edilir. Hidrazin hem oksijeni su ve azota indirger, hem de çelik yüzeylerde koruyucu manyetit tabakasını teşvik eder. Hidrazin ile hedef, kazan suyunda çok düşük bir bakiye (birkaç yüz ppb düzeyinde) bırakmaktır[34]. Hidrazin istenmezse, organik türevlerinden dietilhidroksilamin (DEHA), metikarbitol, karbonil

dihidrazid gibi alternatifler kullanılabilir; bunlar da oksijenle reaksiyona girip uçucu oldukları için kondens hattına kadar koruma sağlarlar.

- **Aminler (Kondensat Şartlandırma):** Buhar kondens hatlarının korozyona uğramaması için, buhar fazına geçip kondens suyunu bazikleştiren amin tipi kimyasallar dozlanır. **Nötralize edici aminler** (ör. dietilaminoetanol (DEAE), sikloheksilamin, morfolin gibi) buharla birlikte giderek yoğunlaşan suyun pH'ını yükseltir ve karbonik asit etkisini nötralize eder. Amaç kondens pH'ını ~8,5 civarında tutmaktır[68][69]. Örneğin, sikloheksilamin uzun hatlarda etkilidir, morfolin kısa hatlarda hızlı etkiler. Bu aminlerin uygun karışımı ile tüm kondens sisteminde düzgün pH kontrolü sağlanır. Ayrıca **filming aminleri** (ör. oktadekilamin gibi) kullanılarak boru iç yüzeylerinde hidrofobik bir film tabakası oluşturup korozif kondensatın metale temasını engellemek de mümkündür. Amin dozajı genellikle buhar üretim oranına göre yapılır ve kondens pH ölçümleriyle ayarlanır. Kondens kirlenmesi varsa (ör. proses nedeniyle buhara yabancı madde karışması) bunu tespit eden iletkenlik veya TOC alarmlı sistemler de kurulabilir[70][71].
- **Köpük Kesiciler:** Nadiren gerekse de, eğer kazan suyunda kronik köpürme sorunu varsa, silikon bazlı antifoam (köpük önleyici) kimyasallar çok düşük dozlarda kullanılabilir. Bunlar su-yüzey gerilimini düşürerek köpük kabarcıklarının patlamasını kolaylaştırır. Ancak doğru su kimyasıyla genelde köpük önleyiciye ihtiyaç kalmaz; köpürme sorunu çözmek için asıl yapılması gereken, **blöf oranını artırarak** veya dozajları düzelterek suyu ideal aralıklara getirmektir.
- **Dağıtıcı ve Şelatlayıcı Maddeler:** Kazan içinde oluşabilecek çamuru akışkan tutmak ve boru yüzeylerine yapışmadan atılmasını sağlamak için polimerik dağıtıcılar veya şelatlayıcılar eklenir. Düşük basınçta genelde fosfat + polimer kombinasyonu kullanılır. Polimerler (ör. poliakrilat, polimetakrilat türevleri) kalsiyum, demir gibi iyonları komplekse alarak veya çamur partiküllerinin büyümesini engelleyerek askıda kalmasını sağlar. Bazı gelişmiş programlar **EDTA**, **NTA** gibi şelatlayıcıları da içerir; bunlar suya giren sertlik iyonlarını tamamen çözünür komplekse çevirip kazanı temiz tutar (ancak dikkat: yüksek basınçta şelatlama, mevcut birikintileri de çözerek ani taşıntı yapabileceğinden uzman kontrolünde uygulanır).
- **Blöf Kontrolü:** Buhar kazanlarında kimyasal şartlandırmanın ayrılmaz bir parçası, **kontrollü blöf (boşaltma)** uygulamasıdır. Kazan suyu sürekli buharlaştığı için, içindeki çözünmüş maddeler konsantre olur. Belirli bir iletkenlik veya TDS değerinde kazan suyu sürekli veya aralıklı olarak alt blowdown hattından boşaltılarak taze besi suyuyla değiştirilir. Blöf miktarı, besi suyunun kalitesine göre hesaplanır. Örneğin, kabul edilen kazan suyu iletkenliğinin, besi suyu iletkenliğine oranı (konsantrasyon faktörü) “nc” olarak tanımlanır[72][73]. Bu orana göre % blöf = 100/nc formülüyle yaklaşık su atım yüzdesi bulunur[72][73]. Otomatik sistemlerde bir iletkenlik probu vasıtasıyla sürekli ölçüm yapılarak vanalar otomatik açılıp kapanabilir. Doğru blöf, su kalitesini sınır değerlerde tutarak hem birikinti oluşumunu önler, hem de aşırı kimyasal birikmesini engeller. Ancak gereğinden fazla blöf de enerji kaybıdır; bu nedenle optimizasyon önemlidir. Düşük basınçlı kazanlarda tipik blöf oranı %5–10

mertebesinde iken, iyi arıtma yapılmış yüksek basınçlı kazanlarda %1'den az olabilir[74][75].

- **Periyodik Kontrol ve Bakım:** Su şartlandırma programı, düzenli analiz ve bakım ile desteklenmelidir. Günlük olarak kazan suyu pH, iletkenlik, fosfat, sulfat/hidrazin, klorür ölçümleri yapılması tavsiye edilir. Haftalık olarak alkalinite, sertlik, demir analizi yapılır. Kondens pH ve iletkenliği de sürekli veya günlük takip edilmelidir. Ayrıca kazan iç yüzeyleri belirli periyotlarda (yılda en az bir kez) muayene edilerek birikinti/korozyon durumu incelenir. Gerekirse **kimyasal temizleme (kazanın dekapajı)** yapılır: Bu işlem, birikmiş kireç veya çamuru çözmek için genelde inhibited asitlerle sirkülasyon şeklinde uygulanır ve ardından nötralizasyon ile tamamlanır. Operatörler ve yeni mühendisler, su şartlandırma kimyasallarının dozaj noktaları, hedef değerleri ve acil durumda (örn. amonyak sızıntısı, kondens kirlenmesi) ne yapmaları gerektiği konusunda eğitilmelidir. Su kalitesi kayıtları düzenli tutulup uzmanlarca değerlendirilmelidir.

Sonuç: Uygun su kimyası değerlerinde işletilen kazanlar, **daha verimli, güvenli ve uzun ömürlü** olacaktır. Her kazan tipi için önerilen su değerlerini korumak, kireçlenme ve korozyon gibi sorunları en aza indirirken, beklenmedik arızaları da önler. Özellikle buhar kazanlarında, düşük ve yüksek basınç şartlarına uygun su hazırlama ve şartlandırma teknikleri uygulanmalıdır. Özetle, su tarafındaki iyi işletme uygulamaları; düzenli analiz, doğru kimyasal kullanımı ve gerekli bakım önlemleri ile birleştiğinde, kazanların performansını en üst düzeye çıkaracak ve işletme maliyetlerini düşürecektir. Yeni mühendisler ve kazan operatörleri için su şartlandırma konusu, kazan operasyonunun ayrılmaz bir parçası olup bu teknik kitapçıkta belirtilen prensipler rehber alınarak her zaman titizlikle yönetilmelidir.

Kaynaklar:

- Ertek Chemicals, *Kazan Suyu Bakım Kimyasalı EK-5 Teknik Föyü*[76][39]
- Aralsan, *EN 12953-10 Kazan Besi Suyu ve Kazan Suyu Sınır Değerleri*[50][29]
- Viessmann Vitoplex 100 Kazan Teknik Dokümanı (VDI 2035'e atfen)[1]
- Burkut Su Tekniği, Enis Burkut, *Buhar Sistemi Ekonomisinde Kazan Besi Suyu İletkenliğinin Önemi*[41][42]
- Suar Mühendislik, *Buhar Kazanında Silis Depoziti*[46][47]
- Dalkim Kimya, *Kapalı Devre Su Şartlandırma Kılavuzu*[77][2]
- Nur Kimya Arıtma, *Kazan ve Kondens Sistemi Şartlandırma*[59][32]
- Tesisat Market Dergisi, *Kapalı Devre Isıtma ve Soğutma Suyu Şartlandırma*[78][79] (Yukarıdaki kaynaklar, kazan suyu şartlandırması konusunda genel geçer değerler ve uygulamalardan alıntılar içermektedir.)

[2] [4] [5] [6] [14] [15] [18] [19] [20] [21] [22] [23] [24] [25] [26] [27] [28] [77] Kapalı Devre Su Şartlandırma

<https://www.dalkimkimya.com.tr/kategoriler.php?kid=1715198413>

[3] [11] [30] [31] [32] [33] [59] [60] KAZAN VE KONDENSE SİSTEMİ ŞARTLANDIRMA - Nur Kimya Arıtma

<https://nurkimyaaritma.com/kazan-ve-kondense-sistemi-sartlandirma/>

[9] [10] [12] [13] [16] [17] [78] [79] Kapalı Devre (Isıtma ve Soğutma) Su Şartlandırma Uygulamaları

<https://www.thesisatmarket.com/kapali-devre-isitma-ve-sogutma-su-sartlandirma-uygulamalari>

[29] [37] [40] [43] [44] [50] Kazan Besi Suyu Değerleri | Aralsan

<https://www.aralsan.com/kazan-besi-suyu-degerleri>

[34] [35] [39] [48] [49] [52] [53] [54] [55] [56] [57] [66] [67] [68] [69] [76] ertekchemicals.com

<https://www.ertekchemicals.com/wp-content/uploads/2017/12/EK-5.pdf>

[36] [PDF] ISITMA TESİSATI 3.1. Kapsam Bu bölüm; yapılarda sıcak sulu ...

<https://webdosya.csb.gov.tr/db/yfk/icerikler/taslak-uk-isitma-tes-sati-31.12.12018-20190610153814.pdf>

[38] [PDF] BUHAR KAZANI BEŞİ SUYU HAZIRLAMA TEKNİKLERİ ...

https://www.mmo.org.tr/sites/default/files/44bdd9636749a08_ek.pdf

[41] [42] [63] [64] [72] [73] BUHAR SİSTEMİ EKONOMİSİNDE KAZAN BESİ SUYU İLETKENLİĞİNİN ÖNEMİ - BURKUT Su Tekniği A.Ş.

<https://www.burkut.com.tr/buhar-sistemi-ekonomisinde-kazan-besi-suyu-iletkenliginin-onemi>

[45] [65] [74] [75] Boiler Feed Water and Boiler Water - EWT Water Technology

<http://www.ewt-wasser.de/en/knowledge/codes-standards-boiler-operation.html>

[46] [47] [51] [58] BUHAR KAZANINDA SİLİS DEPOZİTİ - Suar Mühendislik

<https://suar.com.tr/uygulamalar/proses-suyu/buhar-kazani-besi-suyu/buhar-kazaninda-silis-depoziti/>

[61] [62] Kazan Sistemleri Şartlandırma 1 - DARGE B Derneği

<https://dargeb.com/kazan-sistemleri-sartlandirma-1/>

[70] [71] SUYUN İLETKENLİĞİ ÇOK ÖNEMLİDİR - BURKUT Su Tekniği A.Ş.

<https://www.burkut.com.tr/suyun-iletkenligi-cok-onemlidir>

