

## Evsel Atık Sudun Çökeltilmeyle Fosfat Giderim Metotlarının Karşılaştırılması

Şükrü DURSUN<sup>1</sup>, N. Hatice OKTAÇ

Selçuk Üniversitesi, Mühendislik-Mimarlık Fakültesi, Çevre Mühendisliği Böl., KONYA

**Özet:** Atıksu arıtma tesislerinde uygulanan klasik arıtım yöntemleri fosfat gideriminde yeterince etkili olmamaktadır. Bu sebeple biyolojik ve kimyasal fosfor giderim sistemleri geliştirilmiştir. Ancak atıksudan fosfat gideriminde her sistem aynı oranda verim sağlamamaktadır. Bu çalışmada, atıksudan fosfat giderimi için kimyasal çöktürme yöntemi kullanılmıştır. Koagülant olarak kullanılan alüminyum sülfat, demir sülfat ve kireç Jar Testine tabi tutulmuştur. Her koagülant değişik dozlarda ve suyun değişik pH'larında kullanılmıştır. Böylece, koagülantların fosfat giderimindeki performansı karşılaştırılmıştır. Deneylerde Konya Başarakavak Arıtma Tesisi giriş suyu kullanılmıştır. Demir sülfat (86.4 mg/L dozu) ile pH 9'de ortofosfatta %76, toplam fosfatta %38 oranında giderim verimi elde edilmiştir. Alüminyum sülfat (84.8 mg/L dozu) ile pH 8'de ortofosfatta %73, toplam fosfatta %31 oranında giderim verimi elde edilmiştir. Uygun pH ve polielektrolit dozu seçimiyle %100'e varan fosfat giderim verimi elde edilmiştir.

**Anahtar Kelimeler:** Fosfat, deşarj, ötrofikasyon, kimyasal çöktürme, ortofosfat

## Comparison of the Phosphate Removal By Precipitation from the Domestic Wastewater

**Abstract:** Classical wastewater treatment processes are not effective enough in removal of the phosphate. For this reason, biological and chemical phosphate removal systems are developed. However, every system cannot give the same output in removing phosphate from the wastewater. In this study, chemical precipitation method was used to remove the phosphate from the wastewater. Aluminium sulphate, ferrous sulphate and lime were used in the jar test as the coagulants. Each coagulant was used in different doses and at the different pH values of the wastewater. Thus, the coagulants performance in removal of the phosphate was compared. Konya Başarakavak Treatment Unit influent water was used in the research. About 76 % orthophosphate and 38 % total phosphate removals were obtained using 86.4 mg/L of ferrous sulphate at pH 9 and 73 % orthophosphate and 31 % total phosphate removals were obtained by precipitating 84.8 mg/L of aluminium sulphate at pH 8. Up to 100 % phosphate removal was found with application of right pH and polyelectrolit dose.

**Keywords:** Phosphate, discharge, eutrophication, chemical precipitation, orthophosphate.

---

<sup>1</sup> E-mail:sdursun@selcuk.edu.tr

## Giriş

İnsanların faaliyetlerden kaynaklanan atıklar alıcı ortamların kimyasal ve biyolojik yapısını etkilemektedir. Herhangi bir kirleticinin belirli bir çevrede meydana getireceği etki, büyük ölçüde kirleticinin içinde bulunduğu kullanılmış suyun miktarı ve özellikleri ile boşaltıldığı alıcı su ortamının hacim ve diğer karakteristiklerine bağlıdır [1]. Fosfor, su ortamlarında büyümeyi sınırlayıcı nutrient olarak bilinmektedir. Su ortamına yer kabuğundan ve çözülmüş organik ve inorganik fosfatlar karışmaktadır [3].

Evsel atık sularındaki başlıca fosfor kaynağı insan atığı (%50-65) ve sentetik deterjanlar (%30-50) olup fosfor konsantrasyonu 10-30 mg/L arasında değişmektedir [4]. Muslu [5] evlerden gelen atıksuların fosfor muhtevasının takriben %60'ının deterjanlardan kaynaklandığını savunmaktadır. Deterjan katkı maddesinin %12-13'ü fosfor ve %50'den fazlası polifosfatlar olup, sentetik deterjan tüketiminin artışı ile birlikte yüzeysel sulara fosfor karışması önemli hale gelmiştir. Son yıllarda fosfat oranının düşürülmesi konusunda önemli çalışmalar yapılmaktadır [6]. WHO su kriterlerinde yüzey sularında birinci sınıf su kalitesi için fosfat değeri 10 µg/L altındadır [21]

Ortofosfatlar parçalanma olmaksızın biyolojik metabolizmaya alınabilmelerine karşılık polifosfatlar, iki veya daha fazla fosfor, oksijen ve bazı durumlarda hidrojen atomlarıyla kompleks bir molekül şeklindedir [7]. Polifosfatlar, örneğin sodyum heksametafosfat sulu çözelti içerisinde orto- forma hidroliz olurken, organik bileşikler bakteriyel çürüme ile ortofosfatlara dönüşmektedir [8]. Atıksudan fosfatların giderimi göllerin ötrofikasyondan korunması için oldukça önemlidir [9].

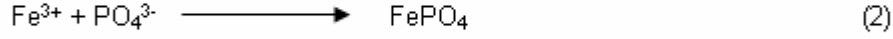
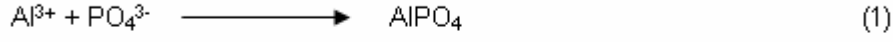
Atıksudan fosfat giderimi için geliştirilmiş birçok yöntem mevcuttur. Bunlar; fiziksel yöntem, biyolojik yöntem, kimyasal yöntem, kimyasal ve biyolojik yöntem birlikte, stabilizasyon havuzları ve arazide arıtım yöntemi sayılabilir. Bunlarda fiziksel yöntem içerisinde; ultrafiltrasyon, ters osmoz ve iyon değiştirme sistemleri kullanılmaktadır. Fiziksel yöntemde kullanılan sistemlerde yüksek oranlarda fosfor giderimi mümkün olmakla birlikte kullanılan malzemeler itibariyle ilk yatırım ve işletme masrafları oldukça yüksek olabilmektedir. Ayrıca, iyon değiştirme sisteminde olduğu gibi ek sistem ihtiyacı gerektiren durumların olması da yine işletme masraflarını artırıcı etken olabilmektedir. Arıtımda kullanılacak maddelerin kolay elde edilebilir, ucuz işletme ve yüksek verimde çalışması arzu edilir [10].

Stabilizasyon havuzlarında fosforun alg yapısına alınması, dip çamuruna çökeltme ve adsorpsiyon şeklinde olmaktadır. Fakültatif stabilizasyon havuzlarında fosfor giderme verimi %40-60 iken anaerobik stabilizasyon havuzlarında en fazla %20 civarındadır. Böylece stabilizasyon havuzlarında toplam fosfor giderme verimi %70 civarında olacağı belirtilmektedir [11]. Stabilizasyon havuzlarının kullanımında aşırı alg büyümesi ve yağmur sularının getirdiği maddeler sonucu ışık girişinin azalması, havuzda geniş hacimli bitkilerin büyümesi sonucu ışığın engellenmesi, buzlanma, oluşan köpük veya çamurdaki anaerobik şartlardan ileri gelen kokular, böcek üremeleri sistemi etkilemektedir [12].

Biyolojik arıtma sistemlerinde ortamın anaerobik ve aerobik olması durumlarında sıvı fazdaki fosfat konsantrasyonu değişmektedir. Anaerobik şartlarda sıvı fazda fosfat konsantrasyonu yükselmekte ve organizmalar ortama fosfat vermektedirler. Aerobik şartlarda sıvı fazdaki fosfat organizmalar tarafından tutularak fosfat konsantrasyonu azalmaktadır [13, 4, 9]. Kimyasal ve biyolojik arıtım birlikte kullanıldığında fosfor giderme yönteminde kimyasal çökeltme işlemi, ön çökeltme, biyolojik arıtım sırasında ve son çökeltme şeklinde gerçekleştirilebilmektedir. Ön çökeltmeden sonra, organik maddeleri giderebilen bir biyolojik arıtma basamağı bulunmaktadır [14]. *Acinetobacter* aktif çamur prosesleri içerisinde fosfat gideren mikroorganizma olarak bilinmektedir [15]. Biyolojik arıtmadan sonraki kimyasal arıtmada, aktif çamur sistemindeki havalandırma tankı flokülasyon ve kimyasal çökeltme tankı olarak kullanılmaktadır. Burada havalandırma sistemi suyun karışmasını da sağlamaktadır. Ancak, bu sistemde havalandırmanın çok hızlı olması sebebiyle kimyasal flokların parçalanarak, aktif çamur çıkış suyunda bulunması ve ardından gelen çöktürme ünitesinde sudan ayrılması mümkün olmayan, dağılmış yumakların suda kalması gibi bir problem ortaya çıkacaktır [16]. Ön çökeltme ve son çökeltmede koagülasyon-flokülasyon ve çöktürme birimleri ayrı bir sistem olarak oluşturulması ile daha verimli fosfat giderimi gerçekleştirilebilecektir. Kimyasal arıtım ikinci biyolojik arıtımı takip eden üçüncül arıtım olarak da kullanılabilir [8].

Şehir atık sularının arıtımında fiziko-kimyasal yöntemlerin biyolojik yöntemlere göre ilk yatırım masraflarının az olması, kontrolünün nispeten kolay olması ve işletmeye geçiş süresinin çok kısa olması, başarılı şekilde fosfor, askıda madde ve renk giderme gibi avantajlara sahiptir.

Genellikle fiziko-kimyasal arıtmıla ilgili çalışmalarda  $Al_2(SO_4)_2$ ,  $FeCl_3$ ,  $FeSO_4$  ve kireç kullanılmaktadır [17]. Kimyasal çöktürmede ilk etki ortofosfatın metal katyonlarıyla birleşmesi şeklinde olmaktadır. Polifosfatlar ve organik fosfor bileşikleri flok partikülleri üzerinde adsorblanarak giderilmektedir [16]. Çöktürme reaksiyonları aşağıda verilmiştir.



Kireç ile fosfat gideriminin kimyası alüminyum ve demir bileşiklerinden biraz farklıdır. Kireç suya ilave edildiği zaman sudaki doğal bikarbonat alkalinitesini kalsiyum karbonat olarak çöktürecek şekilde reaksiyon vermektedir. Daha sonra aşırı kalsiyum iyonları hidroksilapatit çökeleği oluşturmak üzere fosfat ile reaksiyona girmektedir. Bu yüzden, gerekli kireç miktarı, mevcut fosfat miktarı ve suyun alkalinitesine bağlıdır. Denklem 1 ve 2'de görüldüğü gibi alüminyum (Alum) ve demirin 1'er molleri 1 mol fosfatı çöktürebilmektedir. Ancak bu reaksiyonlar basit olmakla birlikte, atıksuda bulunan alkalinite, pH, iz elementleri ve ligandların etkileri göz önünde tutulmalıdır [7]. Ferrous demirin ( $Fe^{2+}$ ) çoğunlukla Ferrik demire ( $Fe^{3+}$ ) göre daha düşük fiyatta olması kullanımında tercih edilmektedir [16]:

Başarakavak kasabası, Konya ili içme suyunun önemli bir kısmının sağlandığı Altınapa baraj gölü havzasında, depolama alanına 12 km, barajı besleyen ana dere olan Uluçay deresine ise 200 m uzaklıkta bulunmaktadır. Baraj havzasında yapılan çalışmalar sonucunda, su kaynağını tehdit eden en önemli kirleticilerin, baraj havzasında bulunan küçük yerleşim yerlerinden kaynaklandığı belirlenmiştir [18]. Tesiste uzun havalandırılmalı aktif çamur sistemi uygulanmakta, azot, fosfor ve organik madde giderimi aynı havuzda yapılmaktadır. Bu çalışmada Konya içme suyu temininde kullanılan barajın kirlenmesine etki eden atık sularındaki fosfatın uzaklaştırılması amaçlanmıştır. Çalışma Başarakavak kasabası atık sularının arıtılmasında şimdiye kadar kullanılmayan alternatif yöntemlerden bazılarını karşılaştırılmasına imkan sağlayacaktır.

### Materyal ve Metot

Atık su numuneleri Başarakavak kasabası atıksu arıtma tesisi giriş suyundan alınmıştır. Fosfat giderimine etki edecek diğer faktörleri belirlemek için, fosfat ölçümleri ile birlikte alkalinite, pH, organik madde, sertlik, bulanıklık, askıda katı madde (AKM) parametrelerin de analizleri yapılmıştır [19, 20]. Bu çalışmada, koagülant madde olarak  $FeSO_4$ ,  $Al_2(SO_4)_3$  ve kireç kullanılmıştır. Kullanılan kimyasal maddelerin atıksudan fosfor giderimi için optimum doz ve optimum pH'nın belirlenmesi hedeflenmiştir. Son olarak anyonik polielektrolitin (Hidrolize poliakrilamid) etkisi araştırılmıştır.

Fosfat tayininde amonyum moliptat ile spektrofotometrik metot kullanılmıştır [19]. Model olarak Jar Testi kullanılmıştır [20]. Deneyler, 4 adet 500 ml'lik kaplarda yapılmıştır. Bu çalışmada hızlı karıştırma süresi 2 dak, yavaş karıştırma süresi 30 dak ve çökelme süresi 45 dak olarak seçilmiştir. Jar Testi öncesinde kimyasal maddeler 4 adet kaba sırasıyla artan dozlarda ilave edilmiştir. Doz artırımına %50 ve üzerinde fosfat giderimi sağlanana kadar devam edilmiştir. En yüksek verimlerin elde edildiği dozlar belirlendikten sonra, her koagülant için optimum pH'ın belirlenmesi için 5-9 aralığındaki pH'larda çalışılmıştır. En son aşamaya ise en uygun polielektrolit dozu tespit edilmiştir.

### Sonuçlar ve Tartışma

Başarakavak Atıksu Arıtma Tesisi giriş suyu kalitesini belirlemek amacı ile 3 ay süre ve haftalık alınan numunelerde yapılan kimyasal analizler şöyledir (ortalama±standart sapma): pH  $7,6\pm 0,8$ ; sıcaklık  $24\pm 1,5$  °C; Alkalinite  $11,9\pm 2,2$  mg/L; Bulanıklık  $121,2\pm 28$  NTU; Organik Madde  $62,08\pm 5,4$  mg/L  $O_2$  eşdeğeri; Toplam Sertlik  $121,6\pm 13$  mg/L  $CaCO_3$ ; Ca Sertliği;  $56,4\pm 4,7$  mg/L  $CaCO_3$ ; AKM  $977,2\pm 47$  mg/L; ortofosfat  $11,9\pm 1,8$  mg/L; T- $PO_4$   $31,4\pm 2,5$  mg/L.

Koagülant doz belirlenmesi için yapılan deneylerin analiz sonuçları Şekil 1'de görülmektedir. Alüminyum sülfatın 84.8 mg/L dozu ile %60 civarında en yüksek orto-fosfat giderim verimi elde edilmiştir. Demir sülfat ile en yüksek verim 86.4 mg/L dozda elde edilmiştir. Kireç için ise en yüksek verim 11.8 mg/L dozun ile bulunmuştur.

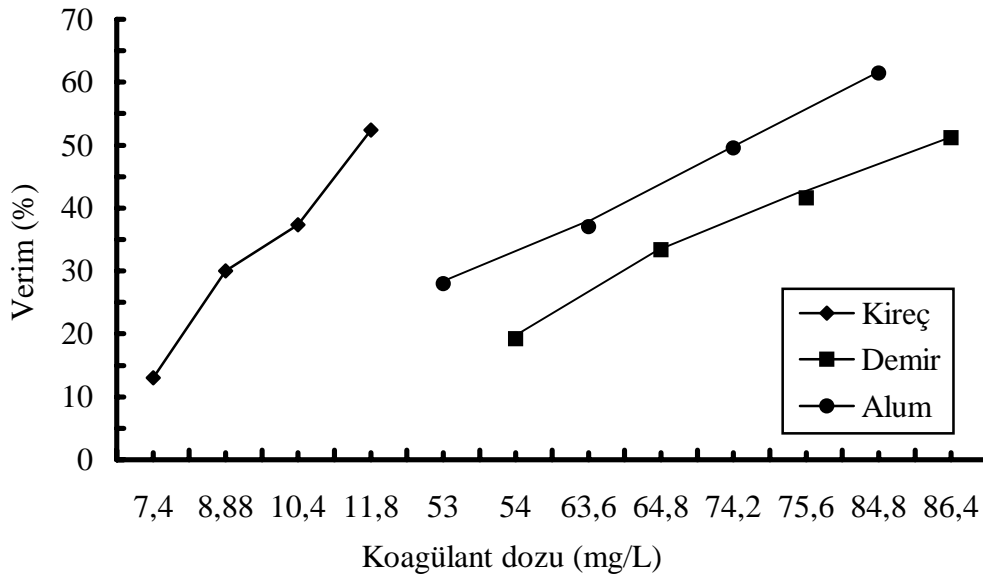
Farklı pH'larda fosfat giderim için, alüm ile pH 8'de en yüksek verim elde edilmiş, pH 9'a da giderim verimi düşmüştür. Birinci deneyde bulunan koagülant dozları ve farklı pH'larda yapılan deneylerin analiz sonuçları Şekil 2'de görülmektedir. Demir sülfat (86.4 mg/L) ile maksimum giderim verimi pH 9'da yaklaşık %80 olarak elde edilmiştir. Kirecin 11.8 mg/L ilavesi ile maksimum orto-fosfat giderim verimi pH 9'da %55 civarında elde edilmiştir.

Son aşamada yukarıda verilen en uygun koagülant dozları ve pH 9'da polielektrolit doz belirleme çalışması yapılmıştır. Bu aşamada ortofosfat gideriminde %100'e varan giderim verimleri elde edilmiştir (Şekil 3). Toplam fosfat giderim ise maksimum %55 civarında olmuştur (Şekil 4). Alum ve demir sülfat ile polielektrolit ilavesi sonucu %100'e varan orto-fosfat giderimi elde edilirken, kireç ve polielektrolit ilavesiyle yapılan çalışmada maksimum %65 civarında orto-fosfat giderimi sağlanmıştır. Toplam fosfat gideriminde ise verimler orto-fosfata göre daha düşük çıkmıştır. Üç koagülant maddeden, alum ile %50, demir sülfat ile %55 ve kireç ile %40 maksimum giderim verimleri sağlanmıştır (Şekil 4).

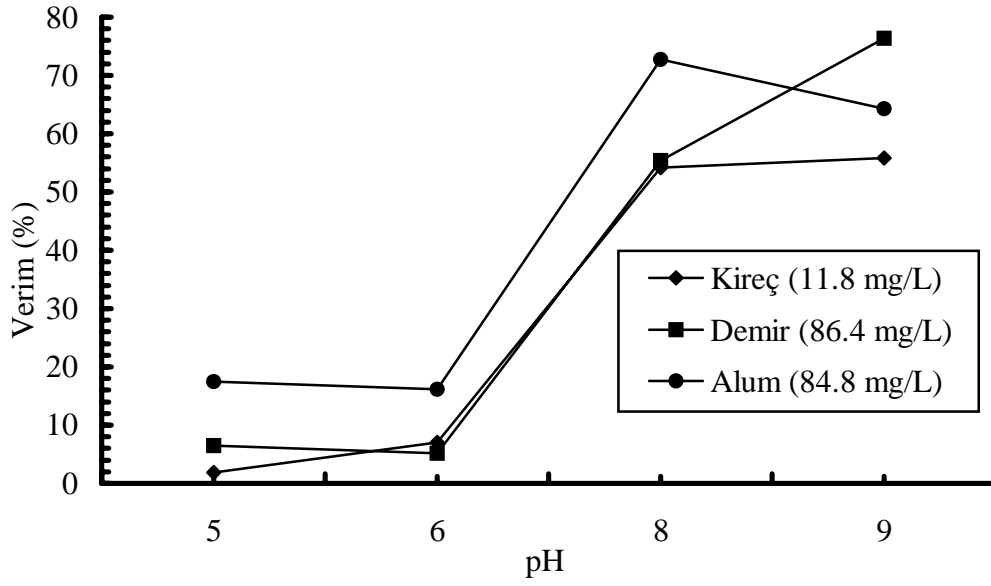
Başarakavak Atıksu Arıtma Tesisi çıkış suyunun Konya ilinin içme suyunun sağlandığı Altınapa Barajı'na veriliyor olması, bu sudaki fosfor gideriminin önemini ortaya koymaktadır. Bu çalışmada tesiste yapılacak fosfat giderimi için kullanılan kimyasal maddelerin değişik doz ve pH'larda gösterecekleri performanslar incelenmiştir. Kimyasal maddelerin doz artırımı, pH değişimi ve polielektrolit kullanımı ile toplam fosfat giderim verimleri bulunmuştur (Şekil 4).

Jar Testi süresince koagülant maddelerin dozlarının ve atık suyun pH'ının artırılması ile birlikte flok çapı ve miktarında büyük artışlar gözlenmiştir. Bu artışları analiz sonuçlarında tespit edilen fosfor giderim verimindeki artış desteklemiştir. Çalışmalar üç koagülantın fosfat gideriminde başarılı olması için değişik doz ve pH aralıklarında kullanılması gerektiğini göstermiştir.

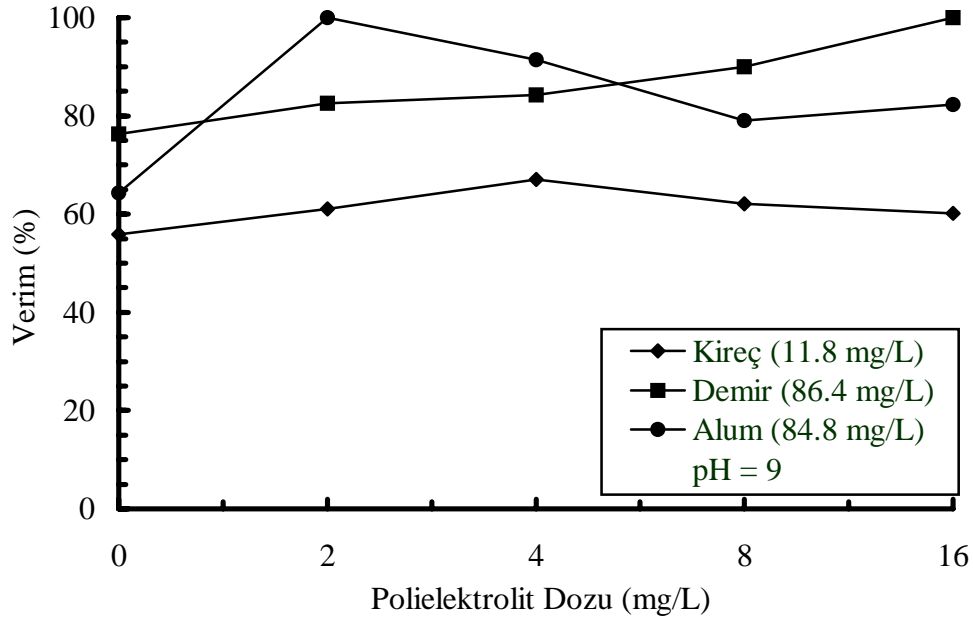
Kireç pH 7-9 aralığında Jar Testi sırasında flok oluşumu ve çökeltme bakımından ve giderim yüzdesi olarak birbirine yakın değerler vermiştir. En yüksek fosfat giderimi pH 9'da, 11.84 mg/L kireç dozunda %55.84'tür. Şengül [11], yaptığı çalışmada 1000 mg/L fosfor konsantrasyonunu %90 oranında arıtmak üzere 8000 mg/L kireç kullanılmıştır. Evsel atıksuda denemeler pH 9'da kireç ile yapılmış ve sonuçların literatür ile uyumlu olduğu görülmüştür. Fosforun kireç ile giderilmesinde çökeltme hızı pH'ın 11'de oldukça yüksektir [20]. Deney sonuçları daha yüksek kireç dozunda ve yüksek pH'da çalışılması gerektiğini göstermektedir.



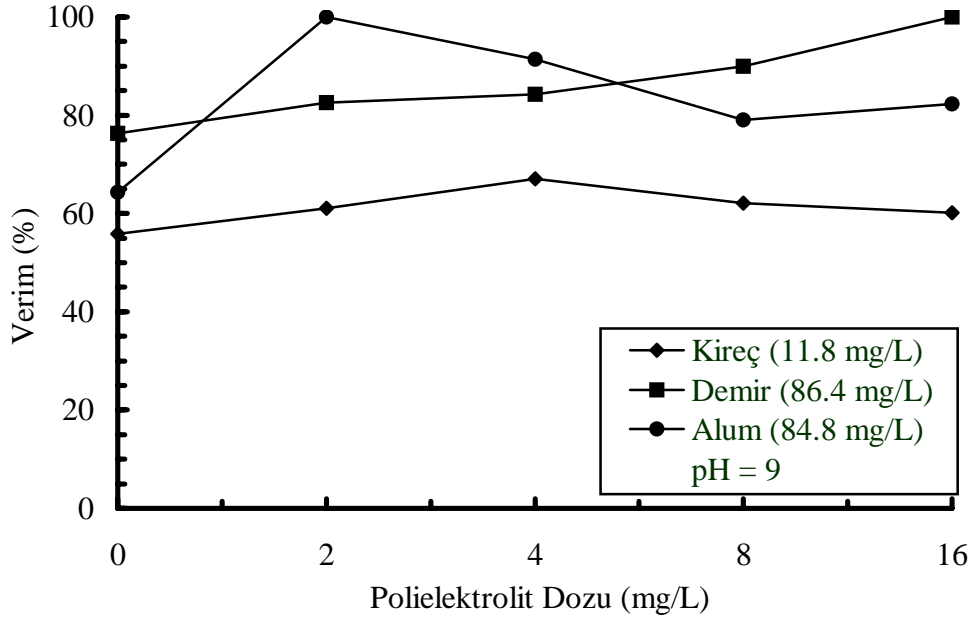
Şekil 1. Başarakavak Atıksu Arıtma Tesisi girişinden alınan numunelerde orto-fosfat giderim veriminin koagülant dozu ile değişimi.



Şekil 2. Başarakavak Atıksu Arıtma Tesisi girişinden alınan numunelerde orto-fosfat giderim veriminin sabit koagülant dozu ve farklı pH'lardaki değişimi.



Şekil 3. Başarakavak Atıksu Arıtma Tesisi girişinden alınan numunelerde orto-fosfat gideriminin sabit koagülant dozu ve pH'da polielektrolit dozu ile değişimi.



**Şekil 4. Başarakavak Atıksu Arıtma Tesisi girişinden alınan numunelerde toplam-fosfat giderim veriminin sabit doz ve sabit pH'da polielektrolit dozu ile değişimi.**

84.8 mg/L alüminyum sülfat dozunda ve pH 8'de en yüksek verim ortofosfatta %72.8 ve toplam fosfatta %30.8'dir. Şengül [11], 50 mg/L fosfor içeren sentetik atıksu örneklerinde alum ile yapılan deneyde pH 5'te alum:fosfor ağırlık oranının 18:1 olduğunda, elde edilen verimin %96 iken, pH 9'da verimin düştüğünü belirtmiştir. Alüminyum tuzları ile pıhtılaştırma-yumaklaştırma pH 5-7 arasında tercihan 6.5-7'de gerçekleşmektedir ve evsel atıksularda yapılan arıtma çalışmaları gerekli dozun alum için 1.5-2.0 molAl/molP arasında değişmektedir [20]. Bu çalışmada en yüksek verim pH 8'de elde edilmiş, polielektrolit dozlaması ile ortofosfat giderim verimi %100'e, toplam fosfatta ise %49'a kadar yükseldiği görülmüştür.

86.4 mg/L demir sülfat dozunda pH 9'da en yüksek verim ortofosfatta %76.32 ve toplam fosfatta %37.71 olmuştur. Demir tuzları ile pıhtılaştırma-yumaklaştırma pH 4-10 arasında gerçekleşmektedir ve evsel atıksularda yapılan arıtma çalışmaları gerekli dozun demir için 1.0-7.5 mol Fe / mol P arasında değişmektedir [20]. Bu çalışmada pH 5 ve 6'da aralığında fosfat gideriminde verim çok düşüktür, ancak pH 9'a yükseltildiğinde fosfat giderim veriminin etkili bir şekilde arttığı görülmüştür. 86.4 mg/L demir sülfat dozunda ve pH 9'da polielektrolit dozlanmasıyla ortofosfat giderim verimi %100'e, toplam fosfat giderim verimi %50'ye kadar yükselmiştir. Başarakavak Atıksu Arıtma Tesisi'nde fosfat giderimi için demir(II)sülfat kullanılmaktadır. Demir sülfat dozlaması oksijen konsantrasyonunun yüksek olduğu ve tam karışımın sağlandığı havalandırıcıların bulunduğu havalandırma havuzlarında yapılmaktadır.

Mevcut arıtma tesisinde kireç pH 7-8 aralığında daha etkin bir kimyasaldır ancak daha yüksek dozlarında kullanılmalıdır. Alum ile pH 8'de etkin bir çökeltme meydana gelirken pH 8'in üzerine çıktığında verim azalmaktadır. Demir sülfat pH 9'da oldukça etkin bir çöktürücüdür. Demir sülfat dozlandığında suda siyaha yakın, koyu yeşil bir renk oluşmaktadır. Ancak pH 9'da iri flok oluşumu ve hızlı ve etkin bir şekilde çamurun çökmesi sonucunda geriye berrak bir su kalmıştır. Buradan demir sülfatın suya değil çamura renk verdiği anlaşılmıştır.

Mevcut tesiste fosfatın kimyasal çöktürme işleminde bazı noktalara dikkat edilmelidir: (1) floklaşma ünitesinde karıştırmanın sürekli olması, oluşan floklar bu sistem içerisinde parçalanmasına ve daha sonraki çökeltme işleminde verimi azaltacaktır; (2) tesiste kireç veya alum kullanılması durumunda yüksek pH'lara ihtiyaç duyulacaktır, aynı üniteye biyolojik arıtmada yapıldığı için yüksek pH'larda mikroorganizmaların yaşam şartları bozabilir; (3) uygulanacak koagülantlar ile yüksek metal konsantrasyonları biyolojik arıtmadan sorumlu mikroorganizmaların inhibisyonuna sebep olabilecektir. Mevcut tesis de koagülant maddeleri biyolojik oksidasyon tankından sonra kullanılmalı, bu üniteye yavaş karıştırma yapılmalı ve suyun pH'sı da kontrol edilerek en ekonomik koagülant seçilmelidir.

**Teşekkür:** Deneylerin yapılması sırasında numune temini konusunda yardımlarından dolayı Konya Büyükşehir Belediyesi KOSKİ görevlilerine teşekkür ederiz.

#### **Kaynaklar**

1. Karpuzcu, M., **Çevre kirlenmesi ve kontrolü**, İTÜ Matbaası, İstanbul (1991)
2. Muslu, Y., **Su temini ve çevre sağlığı**, Cilt III, İTÜ Matbaası, İstanbul (1985)
3. Hurst, C. J., Knudsen, G., R., McInerney, M., J., Stetzenbach, L., D., Walter, M., V., **Manuel of enviromental microbiology**, ASM Press, Washington (1997).
4. Kargı, F., **Çevre mühendisliğinde biyoprosesler**, Dokuz Eylül Ün. Mühendislik Fakültesi Basım Ünitesi, İzmir (1993).
5. Muslu, Y., **Atıksuların arıtılması**, İ.T.Ü. Matbaası, İstanbul (1994).
6. Yalçın, H., Gürü, M. **Su teknolojisi**, Palme Yayıncılık, Ankara (2002).
7. Metcalf & Eddy, **Wastewater engineering: Treatment disposal reuse**, TATA McGraw-Hill Publishing Company LTD., New Delhi (1991).
8. Hammer, Mark, J., **Water and wastewater technology**, John Wiley and Sons, Washington, (1975)
9. Fush, G., W., Chen Min, Microbiological Basis of Phosphate Removal in the Activated Sludge Process for the Treatment of Wastewater, **Microbial Ecology**, 2, 119-138, (1975).
10. Divrikoğlu, F. **Azotlu atıksuların arıtılması**, Yüksek Lisans Tezi, Osmangazi Ün., Fen Bilimleri Enstitüsü (1994).
11. Şengül, F., **Atıksularda fosfor arıtımı**, Uluslararası Çevre'87 Sem. Bildirileri, İstanbul, 547-555 (1987).
12. Topacık, D., **Atıksu arıtma tesisi işletilmesi**, İ.T.Ü. Matbaası, İstanbul (1987).
13. Li, j., Xu, N.S., Su, W.W. Online estimation of stirred-tank microbial photobioreactor cultures based on dissolved oxygen measurement. **Biochem. Engin. J.** 14;51-65 (2003).
14. Erenler, E., Göl ve Deniz Sularının Fosfor Eliminasyonu ile Korunması, **Uluslararası çevre sorunları sempozyumu tebliğleri**, İstanbul, 115-125 (1991).
15. Hao, O. J., Member, ASCE and Chang, C. H., Metal Toxicity on Phosphate Removal in Pure Culture and in Activated Sludge Systems, **J. Environ. Engin.**, 114, 1, 38-53 (1988).
16. Henze, M, Harremoës, P., Jansen, J., C., Arvin, E., **Wastewater treatment biological and chemical processes**, Chapter 8-10, Springer, (1996).
17. Özgen, S., Sürücü, G., Kanalizasyon Sularının Fiziko-Kimyasal Arıtımında Sodyum Aluminat Kullanımı, **Çevre'83 II. Ulusal Çevre Mühendisliği Sempozyumu**, İzmir (1983).
18. Küçükhemek, M., **Başarakavak (Konya) atıksu arıtma tesisi veriminin belirlenmesi**, Yüksek Lisans Tezi, Selçuk Ün. Fen Bilimleri Enstitüsü (1999).
19. Clesceri, L.S., Greenberg, A.E., Trussell, R.R., **Standard methods for the examination of water and wastewater**, American Public Health Association, Washington (1989).
20. Şengül, F., ve Küçükgül, E.Y., **Çevre mühendisliğinde fiziksel-kimyasal temel işlemler ve süreçler**, D.E.Ü. Mühendislik Fakültesi Basım Ünitesi, İzmir (1997).
21. Hemler, R and Hespanhol, I. **Water pollution control: A guide to the use of water quality management principles**, WHO/UNEP, London, (1997).

