

11. ARITMA ÇAMURLARININ EK YAKIT OLARAK KULLANIMI (İP 11)

11.1. ODTÜ GRUBU TARAFINDAN YAPILAN ÇALIŞMALAR

Bu kısımda dört başlık üzerine yapılan çalışmalar, elde edilen sonuçlar ve değerlendirmeler bulunmaktadır. Bunlar, çamur örneklerinin analizlerine ilişkin yapılan kapsamlı değerlendirmeler (1. bölüm), laboratuvar ölçekli reaktörde yapılan yakma çalışmaları (2. bölüm), çamur örneklerinin çimento fabrikalarında yakılması ile ilgili pişebilirlik deneyleri ve bunların sonuçlarının değerlendirilmesi (3. bölüm), tam ölçekli yakma deneyleri (4. bölüm) ve son olarak da çamurun kurutulmasına ilişkin modelleme çalışmaları ve gelinen son noktanın özetlenmesi (5. bölüm) şeklindedir.

11.1.1. ARITMA ÇAMURLARININ ISIL ÖZELLİKLERİNİN DEĞERLENDİRMESİ

11.1.1.1.Çamur Örneklerindeki Isıl Analizlerin Mevsimsel Değerlendirmesi

Çamur Örneklerinin Yaklaşık Analizi

Tablo 11.1 ve Tablo 11.2’de çamur örneklerinin yaklaşık analizinin sonuçları verilmektedir. Yaklaşık analiz ASTM D3173, D3174, D3175 standart metodlara göre gerçekleştirilmiştir. Tablo 11.1 kış dönemi, Tablo 11.2 yaz dönemi örneklerinin sonuçlarını göstermektedir.

Yaklaşık analizler kapsamında nem, uçucu madde ve kül ayrı ayrı ölçülmüştür. Daha sonra örnekler arasında sağlıklı bir karşılaştırma yapabilmek için parametreler nem oranına göre normalize edilmiştir. Sabit karbon kuru bazda yüzde uçucu madde ve kül miktarının toplamının 100’den çıkarılmasıyla bulunmuştur. Bu analizde incelenmesi gereken en önemli parametre küldür. Kül miktarının çok olması yakma sonucu bertaraf edilmesi gereken atık miktarının fazla olmasına yol açacaktır. Ayrıca enerji vermeyecek bir maddeye yakma işlemi uygulamak mantıklı değildir. Elde edilen sonuçlar arıtma çamurlarındaki kül miktarının %10 ila %48 arasında değiştiğini göstermiştir. Analizi yapılan çamurlardaki kül miktarının iki dönemde alınan örneklerde bazı tesisler için büyük oranda örtüştüğü, bazı tesisler için ise farklılaşmalar gösterdiği görülmüştür.

Tablo 11.1: Kış Dönemi Çamur Örneklerinin Yaklaşık Analiz Sonuçları

İsim	Nem*	Uçucu Madde**	Sabit Karbon**	Kül**
Adana	13,72	48,28	5,20	46,52
Ankara	7,00	47,85	5,04	47,11
Antalya/Kemer	7,60	60,83	10,60	28,58
Antalya/Lara	7,27	63,56	9,95	26,49
Bursa	9,91	54,43	12,33	33,24
Denizli	5,62	65,81	7,32	26,87
Düzce	6,76	61,32	9,03	29,65
Düzce/Akçakoca	7,43	63,59	9,63	26,77
Elazığ	3,80	53,97	11,62	34,41
Erzincan	5,40	49,24	10,93	39,83
Gaziantep 1	7,33	61,17	9,49	29,34
Gaziantep 2	11,55	59,29	12,83	27,87
İstanbul/Bahçeşehir	10,27	62,17	9,43	28,40
İzmir/Çiğli	12,16	65,70	7,87	26,43
İzmir/Foça	8,16	55,93	9,60	34,48
Kayseri	9,44	58,12	7,98	33,90
Kocaeli/Karamürsel	6,96	46,79	7,04	46,17
Kocaeli/Kullar	6,88	51,19	5,73	43,08
Malatya	8,85	63,16	12,55	24,29
Manisa	5,31	58,10	6,45	35,45
Mersin	5,23	47,11	5,32	47,57
Nevşehir	8,40	62,07	15,19	22,74
Samsun/19 Mayıs	8,25	62,43	11,78	25,79
Samsun/Bafra	7,35	56,67	7,79	35,54
Siirt	9,27	65,28	10,52	24,20
Van	5,54	63,44	9,00	27,55
Yozgat	11,32	64,61	9,63	25,76

* % ağırlıkça

** Kuru bazda% ağırlıkça

*** Analizler 2 replika olarak yapıldığından standard sapma değerleri hesaplanamamıştır

Değişkenlik gösteren tesislerin daha çok kentsel nitelikte atıksuları arıtan, dolayısı ile atıksu karakteri daha değişken bir yapı izleyebilen atıksu arıtma tesisleri ile yaz ve kış nüfuslarının ve yaşam tarzlarının dolayısı ile de atıksu karakterinin farklılık gösterebileceği kıyı kesiminde yer alan atıksu arıtma tesisleri olduğu gözlenmiştir. Elde edilen analiz sonuçları literatürde verilen bazı sonuçlarla karşılaştırıldığında; literatürde de benzer miktarların rapor edildiği, örneğin Thipkhunthod vd. (2005)'nin çalışmasında da atıksu arıtma çamurlarının kül miktarının %16 ile %74 arasında değişkenlik gösterdiği belirtilmiştir. Bu kapsamda kül miktarının düşük olduğu tesisler, kış dönemi için; Antalya/Kemer, Antalya/Lara, Denizli, Düzce, Düzce/Akçakoca, Gaziantep 1, Gaziantep 2, İstanbul Bahçeşehir, İzmir/Çiğli, Malatya, Nevşehir, Samsun/19 Mayıs, Siirt, Van, Yozgat'dır. Yaz

dönemi için; Antalya/Kemer, Antalya/Lara, Bursa, Düzce, Düzce/Akçakoca, Elazığ, Erzincan, Gaziantep 1, Gaziantep 2, İstanbul/Bahçeşehir, İzmir/Çiğli, İzmir/Foça, İzmir/Güneybatı, Kocaeli/Karamürsel, Kocaeli/Kullar, Malatya, Nevşehir, Samsun/19 Mayıs, Samsun/Bafra, Yozgat'dır. Görüleceği üzere, iki dönemde alınan numunelerin kül oranlarında önemli farklılıklar mevcut olsa da, Malatya, Nevşehir, Samsun/19 Mayıs ve Yozgat tesisleri düşük kül oranlarıyla öne çıkmışlardır. Ayrıca kül oranlarının en yüksek olduğu tesislerin Ankara Merkez, Adana Seyhan, Mersin Karaduvar vb. arıtma çamuruna anaerobik çürütücü gibi etkin bir stabilizasyon uygulayan tesisler olduğu dikkat çekmektedir.

Tablo 11.2: Yaz Dönemi Çamur Örneklerinin Yaklaşık Analiz Sonuçları

İsim	Nem*	Uçucu Madde**	Sabit Karbon**	Kül**
Adana	5,57±0,073	49,51±0,790	9,75	40,74±0,194
Ankara	4,52±0,042	47,89±0,332	8,19	43,93±0,286
Antalya/Kemer	6,51±0,075	83,64±0,127	6,55	9,81±0,0230
Antalya/Lara	6,5±0,0440	71,11±0,015	8,60	20,29±0,029
Bursa	5,78±0,107	66,56±0,123	8,00	25,44±0,059
Denizli	4,61±0,093	52,10±0,365	12,32	35,58±0,050
Düzce	9,67±0,061	58,94±0,217	13,92	27,14±0,246
Düzce/Akçakoca	4,28±0,085	72,84±1,194	2,83	24,33±0,115
Elazığ	5,77±0,020	68,61±0,314	5,32	26,07±0,486
Erzincan	8,61±0,056	51,19±0,806	23,54	25,26±1,744
Gaziantep 1	5,62±0,052	63,43±0,163	7,22	29,35±0,154
Gaziantep 2	11,73±0,107	53,80±0,158	21,27	24,93±0,017
İstanbul/Bahcesehir	6,56±0,028	68,82±0,093	10,59	20,58±0,093
izmir/Çiğli	8,05±0,047	72,79±0,045	9,81	17,40±0,042
izmir/Foça	9,42±0,194	64,89±0,127	7,56	27,54±0,088
İzmir/Guneybatı	10,84±0,157	59,79±0,177	16,90	23,31±0,043
Kayseri	5,35±0,036	59,87±0,174	8,19	31,94±0,070
Kocaeli/Karamürsel	6,78±0,110	70,28±0,127	5,57	24,15±0,045
Kocaeli/Kullar	10,98±0,099	61,04±0,038	13,07	25,9±0,058
Malatya	6,88±0,070	65,61±0,094	8,58	25,81±0,104
Manisa	9,33±0,120	53,13±1,361	12,96	33,91±0,409
Mersin	6,21±0,102	52,15±0,158	11,91	35,94±1,396
Nevşehir	6,70±0,113	76,00±0,383	6,99	17,02±0,091
Samsun/19 Mayıs	6,94±0,050	71,97±0,123	7,92	20,11±0,106
Samsun/Bafra	6,62±0,138	71,86±0,033	6,84	21,30±0,079
Siirt	4,68±0,038	54,31±0,535	10,78	34,91±0,807
Van	3,46±0,055	54,97±1,695	6,29	38,74±0,064
Yozgat	6,50±0,094	76,07±0,199	7,06	16,87±0,199

* % ağırlıkça

** Kuru bazda% ağırlıkça

Çamur Örneklerinin Elemental Analizi

Proje kapsamında alınan numunelerin elemental analizi aşağıdaki Tablo 11.3 ve Tablo 11.4’de sırası ile kış ve yaz numuneleri için verilmektedir. Bu ölçümler üç tekrarlamalı olarak yapılmış olup hesaplanan standart sapma ortalama değerini yüzde 5’ini geçmeyecek biçimde tekrarlanarak gerçekleştirilmiştir. Oksijen ise elemental kompozisyon ve kül değeri üzerinden yapılan hesaplama ile bulunmuştur.

Tablo 11.3: Kış Dönemi Çamur Örneklerinin Elemental Analiz Sonuçları

İsim	Karbon**	Hidrojen**	Azot**	Kükürt**	Oksijen**
Adana	26,90±0,063	4,26±0,006	3,66±0,095	1,23±0,028	17,43
Ankara	27,98±0,173	4,51±0,010	3,99±0,067	1,16±0,057	15,25
Antalya/Kemer	38,63±0,037	6,74±0,027	6,20±0,016	1,31±0,017	18,54
Antalya/Lara	36,36±0,336	6,33±0,039	5,08±0,043	1,09±0,015	24,65
Bursa	34,37±0,049	5,76±0,060	5,62±0,126	0,88±0,012	20,13
Denizli	42,49±0,125	7,00±0,021	3,60±0,009	0,65±0,021	19,39
Düzce	33,21±0,065	5,35±0,025	5,28±0,060	1,49±0,006	25,02
Düzce/Akçakoca	37,97±0,287	6,33±0,070	6,10±0,083	0,94±0,018	21,89
Elazığ	33,29±0,230	5,09±0,050	2,56±0,018	0,84±0,039	23,81
Erzincan	32,95±0,034	5,43±0,024	3,07±0,045	1,10±0,005	17,02
Gaziantep 1	37,94±0,231	5,98±0,028	4,63±0,004	1,15±0,027	20,96
Gaziantep 2	36,80±0,203	6,21±0,026	5,38±0,028	0,78±0,018	22,96
İstanbul/Bahçeşehir	35,37±0,257	6,13±0,033	5,72±0,038	0,79±0,112	23,33
İzmir/Çiğli	39,08±0,090	6,73±0,038	6,10±0,147	1,05±0,008	28,27
İzmir/Foça	33,51±0,089	5,61±0,017	5,13±0,051	1,29±0,009	19,98
Kayseri	32,64±0,211	5,15±0,194	4,58±0,056	1,04±0,025	22,7
Kocaeli/Karamürsel	27,47±0,023	4,49±0,015	4,52±0,098	0,98±0,004	16,37
Kocaeli/Kullar	28,24±0,105	4,94±0,019	4,65±0,016	1,08±0,002	18,01
Malatya	39,58±0,169	6,47±0,028	6,73±0,066	0,69±0,012	22,24
Manisa	29,19±0,338	4,75±0,018	3,31±0,015	1,08±0,006	26,22
Mersin	25,82±0,119	3,85±0,027	2,91±0,104	1,19±0,013	18,66
Nevşehir	40,33±0,211	6,45±0,038	6,75±0,028	1,10±0,010	22,63
Samsun/19 Mayıs	40,74±0,154	6,56±0,021	6,61±0,042	1,50±0,006	18,81
Samsun/Bafra	35,38±0,166	6,00±0,043	5,90±0,027	1,40±0,005	15,78
Siirt	42,90±0,205	7,11±0,032	6,23±0,003	0,84±0,015	18,72
Van	43,14±0,092	7,52±0,039	4,73±0,010	0,74±0,002	16,32
Yozgat	43,09±0,106	7,43±0,089	4,96±0,025	1,09±0,009	17,68

** Kuru bazda% ağırlıkça

Elemental analizi incelenen çamur örneklerinden elde edilen sonuçlar değerlendirilirken, öncelikle yanma özelliği bakımından en önemli element olan karbonun çamurun içindeki yüzde oranı incelenmiştir. Tablo 11.3 ve Tablo 11.4’den görülebileceği şekilde kış dönemi çamurlarının % 21’inin karbon içeriği %40’ın üzerindedir. Yaz dönemi için bu oran %14 dolayındadır. Yine kış dönemi için incelenen çamurların %56’sının karbon içeriğinin %30 ila %40 arasında, %22’sinin karbon içeriğinin ise %30 ila %20 arasında yer aldığı görülmektedir. Yaz dönemindeki oranlar ise sırasıyla %68 ve %18’dir.

Tablo 11.4: Yaz Dönemi Çamur Örneklerinin Elemental Analiz Sonuçları

İsim	Karbon**	Hidrojen**	Azot**	Kükürt**	Oksijen**
Adana	27,82±0,149	4,66±0,012	3,48±0,017	1,25±0,014	22,01
Ankara	27,24±0,396	4,72±0,068	3,10±0,015	1,06±0,042	19,95
Antalya/Kemer	41,90±0,057	7,69±0,037	7,85±0,011	1,27±0,013	31,48
Antalya/Lara	34,9±0,146	6,4±0,033	6,03±0,036	1,29±0,009	31,09
Bursa	33,97±0,18	6,03±0,04	5,60±0,04	1,19±0,026	27,80
Denizli	29,90±0,142	4,96±0,009	3,93±0,005	0,89±0,024	24,69
Düzce	31,53±0,105	5,39±0,014	4,80±0,005	1,31±0,012	29,83
Düzce/Akçakoca	36,15±0,030	6,68±0,033	6,40±0,015	0,96±0,007	25,48
Elazığ	33,64±0,083	5,92±0,028	6,38±0,025	0,96±0,020	27,03
Erzincan	36,37±0,14	6,7±0,013	3,70±0,004	1,29±0,017	26,68
Gaziantep 1	34,98±0,125	5,71±0,054	3,69±0,016	1,14±0,023	25,13
Gaziantep 2	29,56±0,078	5,13±0,013	4,18±0,013	1,01±0,037	35,20
İstanbul/Bahcesehir	35,09±0,014	6,3±0,006	6,14±0,009	1,07±0,003	30,81
İzmir/Çiğli	40,79±0,051	7,35±0,110	5,33±0,004	1,37±0,021	27,76
İzmir/Foça	30,75±0,068	5,58±0,028	4,56±0,002	1,49±0,012	30,08
İzmir/Guneybatı	32,43±0,142	6,04±0,061	5,17±0,017	1,47±0,027	31,59
Kayseri	30,13±0,385	5,26±0,089	4,74±0,078	0,99±0,020	26,95
Kocaeli/Karamürsel	34,95±0,055	6,21±0,007	6,30±0,005	1,59±0,015	26,80
Kocaeli/Kullar	30,44±0,061	5,67±0,009	5,16±0,013	1,38±0,010	31,44
Malatya	32,72±0,077	5,57±0,011	5,20±0,025	0,86±0,024	29,84
Manisa	30,06±0,164	5,18±0,015	3,08±0,011	1,59±0,028	26,16
Mersin	28,79±0,043	5,00±0,014	3,96±0,004	1,03±0,030	25,21
Nevşehir	38,49±0,084	6,79±0,019	6,69±0,011	0,91±0,026	30,11
Samsun/19 Mayıs	36,75±0,012	6,45±0,019	6,20±0,015	1,64±0,009	28,85
Samsun/Bafra	35,56±0,021	6,45±0,014	6,85±0,006	1,53±0,006	28,31
Siirt	30,20±0,135	5,26±0,020	3,81±0,006	1,14±0,038	24,68
Van	30,21±0,135	5,18±0,099	3,30±0,006	0,70±0,023	21,87
Yozgat	41,30±0,028	7,29±0,033	4,96±0,016	0,97±0,026	28,62

** Kuru bazda% ağırlıkça

Karbon içeriğinin özellikle organik karbon olması durumunda yüksek karbon içerikli çamurların iyi yanma potansiyeli yaratabileceği değerlendirilmiştir. Karbon içeriği %40’ın üzerinde olan tesisler Antalya/Kemer, İzmir/Çiğli, Malatya, Nevşehir, Samsun 19 Mayıs, Siirt, Denizli, Van ve Yozgat’dır.

Bu tesislerin ortak özellikleri ise ya çamur stabilizasyon sistemlerinin olmaması (büyük çoğunlukla) (örneğin Siirt ve Nevşehir, vb.), ya da kireçle stabilizasyon yapmalarıdır. Tesislerin içinde bir tek Yozgat'ta biyolojik (aerobik) stabilizasyon uygulanmaktadır. Ayrıca yaz ve kış dönemi örnekleri kıyaslandığında analizi yapılan örneklerin birkaç tanesi hariç (Denizli, GASKİ 2, Siirt, Van, vb.) çok büyük oranda karbon yüzdelerinin mevsimsel fark yaratmayarak aynı kaldığı görülmektedir.

Elemental Analiz sonuçları çevresel etki bakımından da değerlendirilebilir. Kirletici baca gazı oluşturma potansiyeli bakımından en önemli parametreler çamurdaki azot ve kükürt oranlarıdır. Arıtma çamurları içerisinde bulunan azot ve kükürt, yanma sırasında azot dioksit ve kükürt dioksit dönüştürülerek baca gazı emisyon seviyelerini yükseltir. Bu nedenle, örnekler içerisinde kükürt ve azot miktarı az olan tesisler değerlendirilmiştir. Kış döneminde Denizli, Elazığ, Kocaeli/Karamürsel ve Van, yaz döneminde Denizli, Kayseri, Van ve Yozgat tesislerinin azot ve kükürt miktarının en düşük olduğu gözlenmiştir. İki dönemde yapılan analizler, çamurun elemental kompozisyonunun bir miktar değişim gösterebildiğini de göstermektedir. Yakma işlemleri sonucunda açığa çıkacak emisyon değerleri, çamurun elemental kompozisyonunun yanında bir çok parametreye daha bağlı olduğundan (birincil yakıt türü, yakıt-çamur karışım oranı, fırın tipi vs.) bu bağlamda kesin bir yorum ancak yakma deneyleri yapıldıktan sonra verilebilmektedir.

Çamur Örneklerinin Isıl Değer Analizi

Elemental analiz çamurların yanma potansiyeli ve yanma sırasında çevreye verebilecekleri olumsuz etkiler hakkında bilgi verirken, ısıl değer analizi yakılacak çamurun ekonomik getirisini ortaya koyabilmek anlamında yardımcı olmaktadır. Proje kapsamında incelenen çamur örneklerinin ısıl değerleri kış ve yaz örnekleri için aşağıdaki Tablo 11.5 ve Tablo 11.6'da sırası ile verilmiştir.

İki döneme ait ısıl değer sonuçları karşılaştırıldığında, hem evsel hem de kentsel özellikteki tesislerin örneklerinde farklılıklar olduğu gözlenmiştir. Evsel tesisler içinde; Antalya/Kemer, Erzincan, İzmir/Foça, Kocaeli/Karamürsel, Malatya, Mersin, Siirt ve Van örneklerinde, kentsel tesisler içinde; Denizli, Elazığ, Gaziantep 2 ve Kocaeli/Kullar örneklerinde iki döneme ait ısıl değer farkı yüksek çıkmıştır. Bilindiği üzere bir maddenin ısıl değeri içeriğindeki karbon ve hidrojen miktarı ile doğru orantılı, azot ve kükürt miktarı ile ters orantılıdır. Dolayısıyla elemental analiz kısmında tartışılan çamur kompozisyonundaki gözlenen değişimler ile ısıl değer açısından farklılaşan yukarıda değinilen tesisler örtüşmektedir. Ancak Antalya/Kemer, Denizli, Kocaeli/Karamürsel, Malatya, Siirt ve Van gibi tesislerdeki ısıl değer değişimi daha büyüktür.

Tablo 11.5: Kış Dönemi Çamur Örneklerinin Kuru Bazda Isıl Değer Sonuçları

İsim	Alt Isıl Değer(cal/g)**
Adana	2287,5±27,41
Ankara	2511,5±8,79
Antalya/Kemer	3408,6±11,27
Antalya/Lara	3061,4±115,11
Bursa	3207,8±31,86
Denizli	3802,5±100,07
Düzce	3037,3±6,32
Düzce/Akçakoca	3559,2±35,73
Elazığ	2833,7±39,19
Erzincan	3050,2±56,23
Gaziantep 1	3381,2±33,46
Gaziantep 2	3378,9±26,85
İstanbul/Bahçeşehir	3262,3±4,41
İzmir/Çiğli	3768,3±25,18
İzmir/Foça	2371,1±62,4
Kayseri	2971,6±18,47
Kocaeli/Karamürsel	2450,2±30,53
Kocaeli/Kullar	2557,4±49,18
Malatya	3678,5±28,48
Manisa	2456,5±24,60
Mersin	2168,7±19,18
Nevşehir	3775,3±9,14
Samsun/19 Mayıs	3859,2±12,69
Samsun/Bafra	3278,8±51,66
Siirt	3828,7±73,23
Van	3945,2±43,65
Yozgat	4165,6±31,31

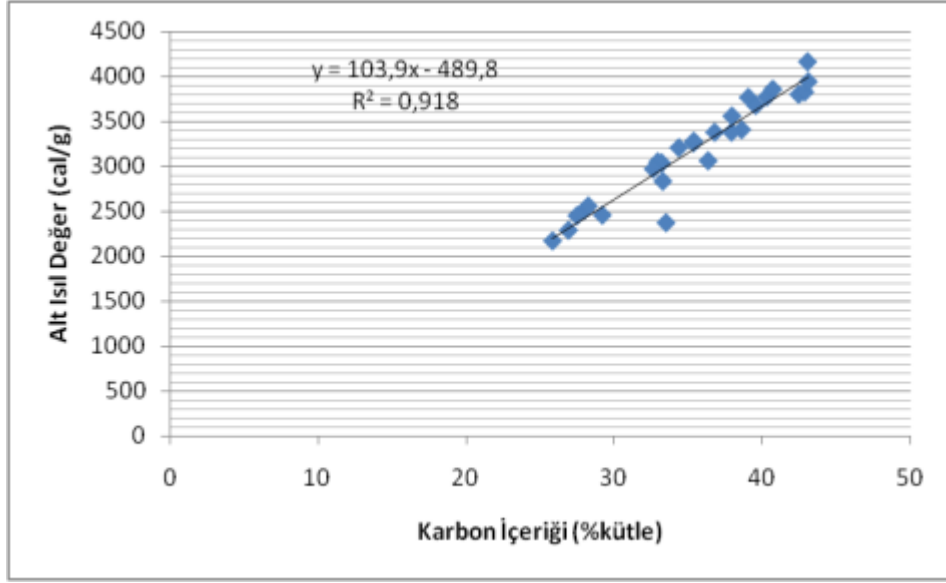
LHV (cal/g) (d.b.) = Kuru bazda alt ısıl değer

Isıl değerdeki değişimi yalnızca çamurun niteliği ile ilişkilendirmek yetersizdir. Bu denli farklılığın oluşabilmesi, çamur işletim proseslerinde önemli mevsimsel değişiklikler olduğu veya bu tesislerde bazı işletme sorunları olabileceğine de işaret etmektedir.

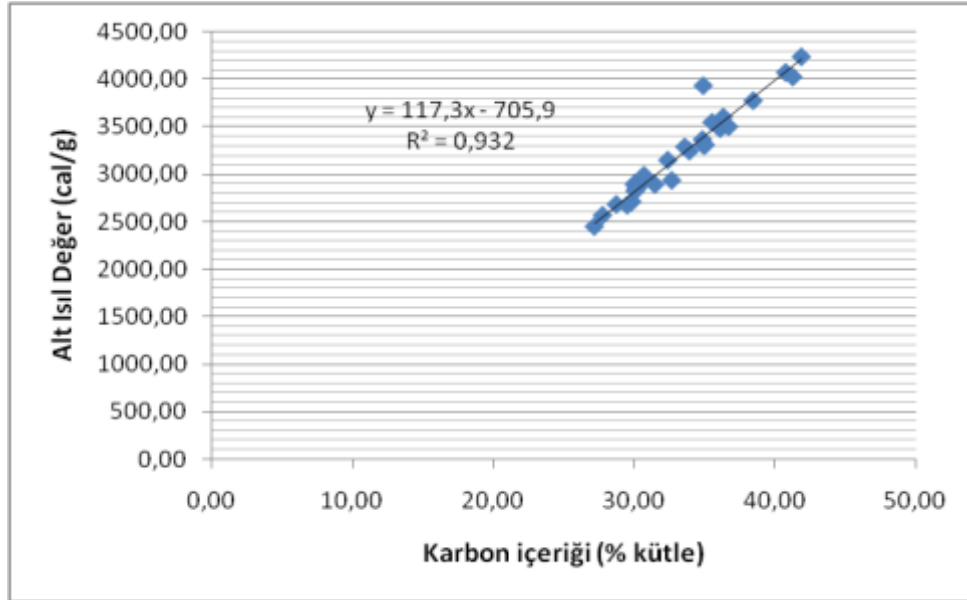
Tablo 11.6: Yaz Dönemi Çamur Örneklerinin Kuru Bazda Isıl Değer Sonuçları

İsim	Alt Isıl Değer(cal/g)**
Adana	2570,2±25,64
Ankara	2452,1±11,48
Antalya/Kemer	4243,4±82,71
Antalya/Lara	3369,3±18,51
Bursa	3247,5±37,28
Denizli	2714,7±19,92
Düzce	2895,4±41,39
Düzce/Akçakoca	3482,6±5,90
Elazığ	3292,4±31,48
Erzincan	3607,6±101,94
Gaziantep 1	3307,1±35,9
Gaziantep 2	2676,3±44,85
İstanbul/Bahcesehir	3312,8±10,26
İzmir/Çiğli	4078,1±29,48
İzmir/Foça	2992±71,68
İzmir/Guneybatı	3152,1±116,87
Kayseri	2827,4±22,11
Kocaeli/Karamürsel	3939,1±26,97
Kocaeli/Kullar	2885,3±6,83
Malatya	2939,4±18,73
Manisa	2900,1±99,73
Mersin	2684,1±52,19
Nevşehir	3780,7±82,64
Samsun/19 Mayıs	3505,4±29,33
Samsun/Bafra	3552,4±48,57
Siirt	2854,2±56,16
Van	2843,2±28,96
Yozgat	4031,2±34,69

LHV (cal/g) (d.b.) = Kuru bazda alt ısıl değer



Şekil 11.1: Kış Dönemi Çamur Örneklerinin Isıl değer Karbon İçeriği İlişkisi



Şekil 11.2: Yaz Dönemi Çamur Örneklerinin Isıl değer Karbon İçeriği İlişkisi

Şekil 11.1 ve Şekil 11.2’de her iki dönem için elemental analiz sonucunda elde edilen karbon değerleri ile ısıl değer analizi sonucunda elde edilen kalorifik değer ilişkilendirilmiştir. Görüleceği üzere örneklerdeki karbon içeriği arttıkça ısıl değer de artmaktadır. Bu sonuç karbonun büyük oranda organik karbon olduğuna ve yapılan analizlerin güvenilirliğine işaret etmektedir.

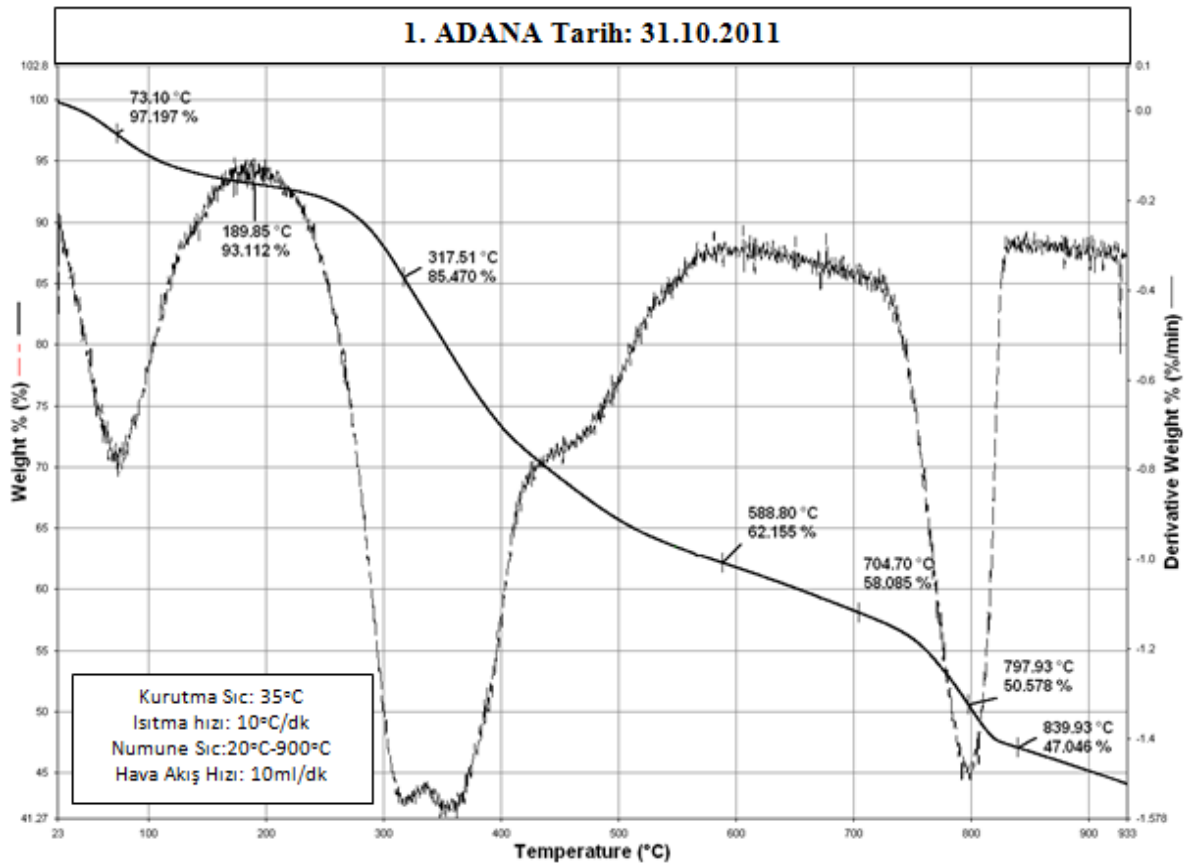
Çamur Örneklerinin Termogravimetrik Analizi (TGA):

Termogravimetrik analiz yukarıda sonuçları incelenen analizlerden farklı olarak numunelerin sıcaklığa, dolayısıyla zamana bağlı kütle kaybı profilini çıkartmaktadır. Bir diğer deyişle, çamurun yakma işlemi sırasında nasıl davranacağını açıklamaktadır. Bu nedenle termogravimetrik analiz,

hangi çamurun yakma işlemine uygun olacağı konusunda tek başına bilgi verebilen tek analizdir. Proje kapsamında incelenen çamur örneklerinin termogravimetrik analiz sonuçları EK F-IX'da verilmiştir. TGA analizleri hizmet alımı ile ODTÜ Merkezi Laboratuvarında yaptırılmıştır.

Arıtma Çamurunun Yanma Profili

Termogravimetrik analiz sonucu elde edilen çıktıya "Termogram" adı verilmektedir. Arıtma çamurunun her yakıt türü gibi kendine özgü bir yanma profili mevcuttur. Aşağıda örnek olması açısından bir adet termogram mevcuttur.



Şekil 11.3: Arıtma Çamurunun Yanma Profili

Termogramlar iki adet grafiğin üstüste getirilmesiyle oluşmaktadır. Grafiğin sol tarafında numunenin sürekli tartımı sonucu ortaya çıkan "TG" grafiği bulunmaktadır. Sağ kısımda ise kütle kaybının zamana göre türevi, bir diğer deyişle kütle kayıp hızı yer almaktadır. Şekilde görüleceği üzere arıtma çamurları üç farklı bölgede yoğun bir kütle kaybına maruz kalmaktadır. Birinci bölge olan 0°C ile 180°C-190°C arasında çamurdaki nem uzaklaşmaktadır. Nem kaybı bölgesinin bitimiyle başlayıp 550°C-570°C lere kadar uzanan ikinci bölgede çamur içerisinde bulunan organik kısım gaz fazına geçip yanmaktadır. Bu bölgeyi takiben 700°C'lere kadar kütle kayıp hızı genelde sabit kalmakta, daha sonra sabit karbon yanması gözlenmektedir.

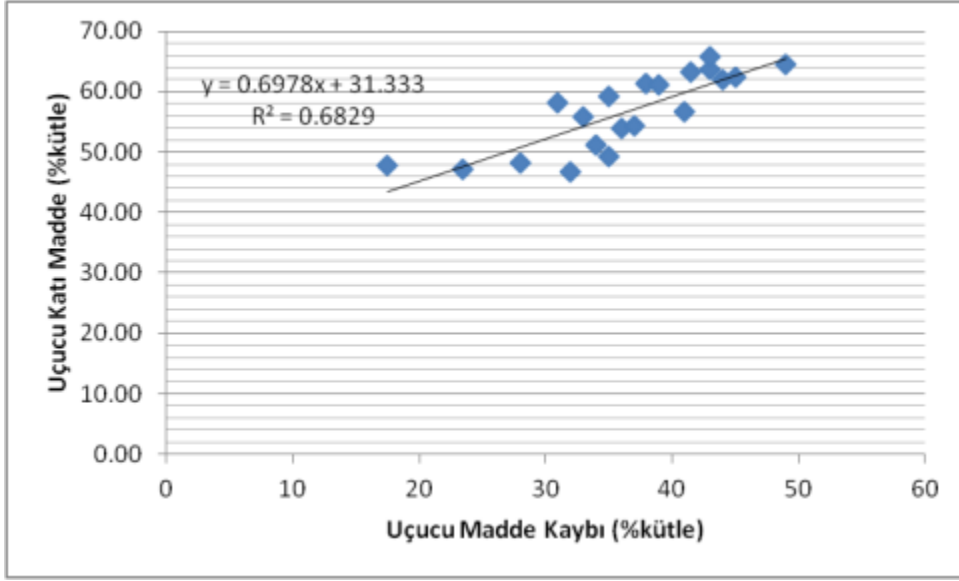
Nem Kaybı Bölgesi

Elde edilen tüm termogramlar incelendiğinde, nem kaybının oda sıcaklığından başlayarak 180-190°C'a kadar devam ettiği görülmektedir. Genel olarak çamur içindeki su kaybının 100-120°C civarında bitmesi beklenmektedir. Ancak, su kaybına yönelik ağırlık kaybının 180-190°C'a kadar devam ettiği görülmektedir. Bu da bize çamur içindeki suyun sadece serbest su olarak değil, bir şekilde çamur yapısına bağlı su molekülleri şeklinde de olabileceğini göstermektedir. Genelde 80-100°C civarında maksimum nem kaybı gözlenmektedir.

Uçucu Maddelerin Yanması

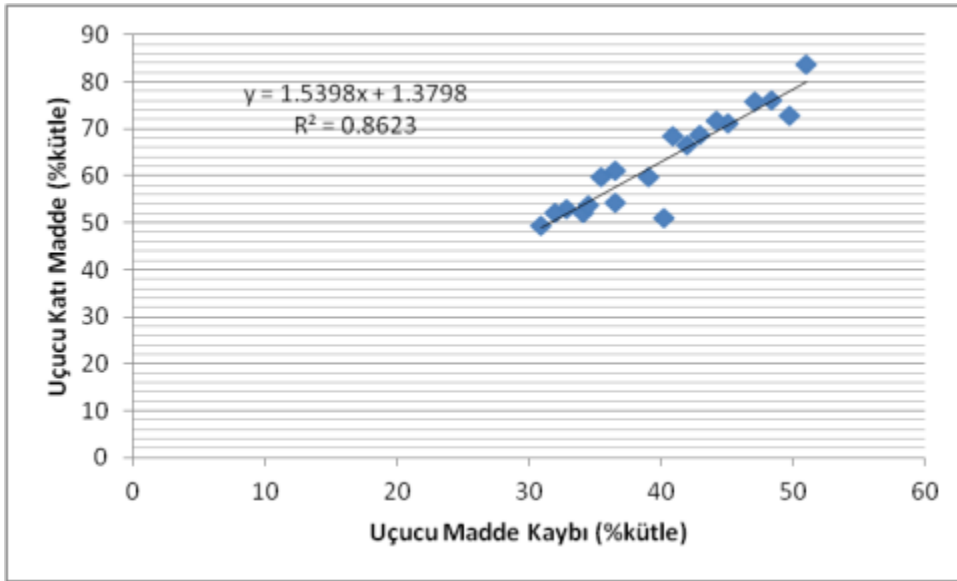
TG ve DTG eğrilerinde görülen ikinci ağırlık kaybı bölgesi, çamur örneklerindeki uçucu maddelerin yanmasını temsil etmektedir. Uçucu madde yanması 180-190°C da başlamakta, örnek içindeki uçucu yanar madde miktarına göre 440-575°C a kadar devam etmektedir. Bu bölgede nem kaybı bölgesinden farklı olarak birden çok pik elde edilmiştir. Buna ek olarak, uçucu organik madde kaybının, numunedeki nemin bitmesiyle birlikte birden hızlandığı, pik noktasına ulaştıktan sonra ise kademeli olarak yavaşladığı görülmüştür. Yakılan örnek içindeki uçucu yanar madde miktarı az ise uçucu madde yanması daha erken bir zamanda ve daha düşük sıcaklıkta tamamlanmakta, uçucu yanar madde miktarı çok ise uçucu madde yanması daha uzun bir zamanda ve daha yüksek bir sıcaklıkta tamamlanmaktadır. Ek 1'deki şekillerden görüldüğü gibi bazı çamurlarda uçucu madde yanması tek pik vermekte, bazılarında da 2 pik halinde görülmektedir. Yine bazı çamur örneklerinde de her iki pik tam olarak birbirinden ayrılmamakta, birinci veya ikinci pik bir omuz şeklinde diğerine yaslanmaktadır. Bunun nedeni bazı uçucuların çok belirgin şekilde maksimum yanma hızına erişmesi ve diğerlerinin belli bir sıcaklığa erişmeden yanma hızının düşük olması olarak yorumlanmaktadır. Bir omuz oluştuğu durumda ise çamur içindeki uçucu maddelerin yanma sıcaklıkları ve hızlarının ana pikten çok belirgin bir fark göstermediği anlamına gelmektedir.

Çamurların termal karakteristiğini ortaya koymak amacı ile çamur örnekleri laboratuvarımıza ulaşıp ulaşmaz uçucu madde tayini yapılmıştır. Bu ölçüm sonuçları TGA deneylerinde gözlenen 2. ağırlık kaybı bölgesinde uçucu organiklerden kaynaklanan miktar ile ilişkilendirilmeye çalışılmıştır. Bu iki parametre arasındaki birebir ilişki Şekil 11.4'de gösterilmektedir. Burada x eksenini Uçucu Madde yüzdesi, y eksenini ise TGA'da ölçülen uçucu madde kaybını göstermektedir.



Şekil 11.4: Kış Dönemi Örneklerinde Uçucu Madde Kütle Kaybının Uçucu Katı Madde Miktarı ile Değişimi

Şekil 11.4 ve Şekil 11.5’de görüldüğü gibi yakılan örnek içindeki Uçucu Katı Madde (UKM) arttıkça TGA deneylerinde gözlenen uçucu madde kütle kaybı da artmaktadır ve bu iki parametre arasında oldukça iyi bir lineer değişim elde edilmiştir.



Şekil 11.5: Yaz Dönemi Örneklerinde Uçucu Madde Kütle Kaybının Uçucu Katı Madde Miktarı ile Değişimi

Uçucu maddelerin yanması sırasında, elde edilen DTG eğrilerindeki pikler incelendiğinde enterasan olarak uçucu maddenin maksimum yanma hızının yaklaşık olarak 290-320°C aralığında olduğu görülmektedir. Uçucu madde yanmasındaki diğer ilginç bir nokta, maksimum yanma hızlarının hangi çamurlarda elde edildiğidir. Aşağıda Tablo 11.7’de 300°C civarında maksimum yanma hızı en

yüksek olan çamurlar görülmektedir. Bu çamur örneklerinden en yüksek yanma hızı, 4 adet Eysel çamur için görülmektedir. İlginç olan sonuç da şudur: Bu çamur örnekleri Alt Isıl değeri 3500 cal/g dan büyük olan çamur örnekleri arasında yer almaktadır. Burada kuralı bozan sadece Samsun/Bafra arıtma tesisidir. Bu tesisden gelen Kentsel çamurun Alt Isıl Değeri 3278,8 cal/g'dır.

Yaz dönemi örnekleri için benzer bir tablo (Tablo 11.8) oluşturulduğunda sonuç farklılaşmış, kentsel özellikteki Antalya/Lara ve Antalya/Kemer tesislerinin tabloya girdiği görülmüştür. İlk dönem sonuçları için görülen evsel-kentsel ilişkisinin bu dönemde görülmemesinin sebebi yine ısıl değer ve elemental analiz yorumlarında sunulan sebeplerle paraleldir. Ancak ilk dönem ile benzerlik taşıyan nokta tabloda gösterilen örneklerin ısıl değerlerinin çok yüksek olduğudur. Bursa ve Antalya/Lara numunelerinin ısıl değeri 3200 cal/g dolaylarındayken diğer örneklerin ısıl değerleri 3700 – 4000 cal/g arasında değişmektedir. Bu sonuçlar bize kalorifik değeri yüksek olan çamurların yanma hızlarının da yüksek olduğunu söylemektedir. Başka bir deyişle yanma sonucu yüksek ısı veren çamurlar, yanma reaksiyonlarını daha kısa sürelerde tamamlamaktadır.

Tablo 11.7: Kış Dönemi Örneklerinde 300°C civarında maksimum yanma hızı en yüksek olan çamurlar

Numune adı	Maksimum yanma hızı, % ağırlık/ dk
Samsun/19 Mayıs (Eysel)	3,3
Nevşehir (Eysel)	2,8
Malatya (Eysel)	2,7
Yozgat (Eysel)	2,6
Samsun/Bafra (Kentsel)	2,6
İzmir/Çiğli (Kentsel)	2,6

Tablo 11.8: Yaz Dönemi Örneklerinde 300°C civarında maksimum yanma hızı en yüksek olan çamurlar

Numune adı	Maksimum yanma hızı, % ağırlık/ dk
Antalya/Kemer (Eysel)	3,1
Antalya/Lara (Kentsel)	3,0
İzmir/çiğli (Kentsel)	2,7
Nevşehir (Eysel)	2,7
Yozgat (Eysel)	2,6
Bursa (Kentsel)	2,5

Tablo 11.9'da da 300°C civarında maksimum yanma hızı en düşük olan çamurlar görülmektedir. Burada bir önceki değerlendirmede olduğu gibi tesislerin evsel-kentsel durumu ile bir ilişki kurulamamıştır. Ancak yanma hızı düşük olan çamurların % karbon içerikleri ve ısıl değerlerinin de ya ortalama düzeyde ya da düşük düzeyde olduğu görülmüştür.

Tablo 11.9: Kış Dönemi Örneklerinde 300°C civarında maksimum yanma hızı en düşük olan çamurlar

Numune adı	Maksimum yanma hızı, % ağırlık/ dk
Mersin (Evsel)	1,2
Adana (Kentsel)	1,3
Ankara (Kentsel)	1,4
Kocaeli/Kullar (Kentsel)	1,79
Erzincan (Evsel)	1,8
Kayseri (Kentsel)	1,8

Tablo 11.10’da yukarıdaki tartışmanın sonucunu açıkça ortaya koymaktadır. Arıtma çamurlarının yakılabilirliği tesislere gelen atıksuyun evsel ya da kentsel nitelikte olmasına bağlı değildir. Önemli olan nokta oluşan çamurun niteliği ve bu çamurun nasıl işlendiğidir. Ön çökeltme ve çamur stabilizasyonu işleminin olup olmaması, stabilizasyon var ise hangi yöntem ile stabilize edildiği çamurun niteliğini oldukça değiştirmektedir. Aşağıda görülen tesislerin hepsinde ya stabilizasyon mevcuttur ya da ön çökeltme işlemi bulunmamaktadır.

Tablo 11.10: Yaz Dönemi Örneklerinde 300°C civarında maksimum yanma hızı en düşük olan çamurlar

Numune adı	Maksimum yanma hızı, % ağırlık/ dk
Adana (Kentsel)	1,5
Mersin (Evsel)	1,6
Manisa (Evsel)	1,75
Denizli (Kentsel)	1,82
Siirt (Evsel)	1,9
Kocaeli/Kullar (Kentsel)	2,0

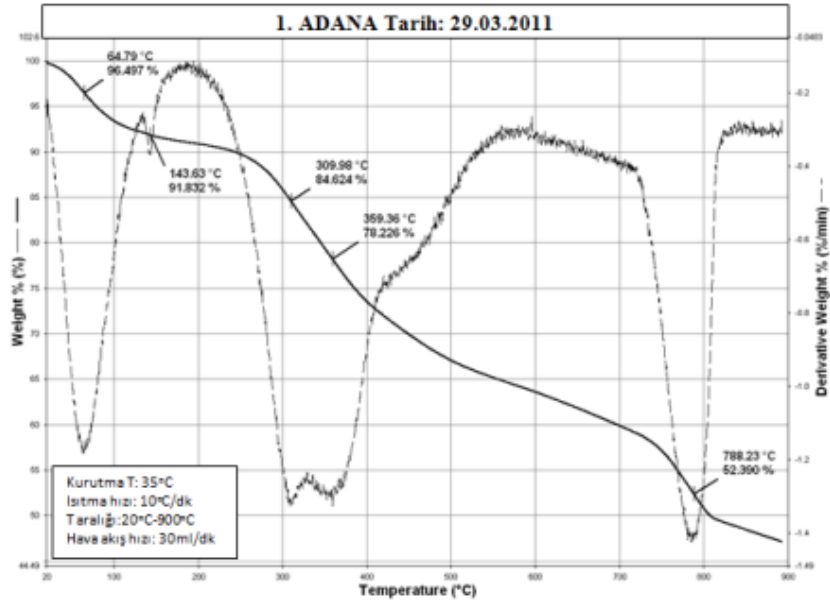
Sonuç olarak, ısı değer ile uçucu organik yanma hızı arasında tek taraflı bir ilişki olduğu söylenebilir. Yüksek ısı değerine sahip olan örnekler, yüksek yanma hızlarına çıkabilmektedir. Ancak, maksimum yanma hızı değeri düşük olan örneklerin ısı değerlerinin düşük veya yüksek olması zorunlu değildir. Bir diğer sonuç ise, en yüksek yanma hızının ve ısı değerinin genellikle evsel nitelikli arıtma çamurlarından elde edilmiş olmasıdır.

Sabit Karbonun Yanması

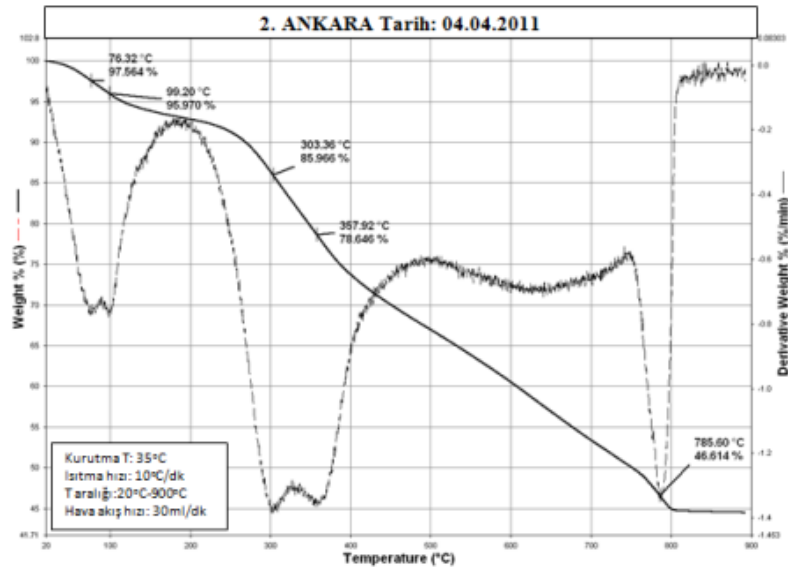
Şekiller incelendiğinde uçucu maddelerin yanması bittikten sonra 3. pik olarak “sabit karbonun yanması” bölgesi gelmektedir. Çamur örneği içinde bulunan uçucu maddeler, sıcaklık belli değere ulaştığında yanmasını tamamlamakta, ancak geriye yanması zor olan ve sabit karbon içeren “char” veya “kok” denilen kısım kalmaktadır. Kok miktarı, çamur örneği içindeki sabit karbon miktarı ile genelde doğru orantılıdır. Örnekler içindeki sabit karbon miktarına göre kokun yanması çabuk veya

yavaş olmaktadır. Genelde kok yanması uçucu madde miktarına da bağlıdır. Uçucu maddenin yanması ve örnekten uzaklaşması ile genelde geride daha gözenekli bir kok kalmaktadır. Geride kalan kok maddesinin gözenekli olması kokun yanmasını kolaylaştırmaktadır.

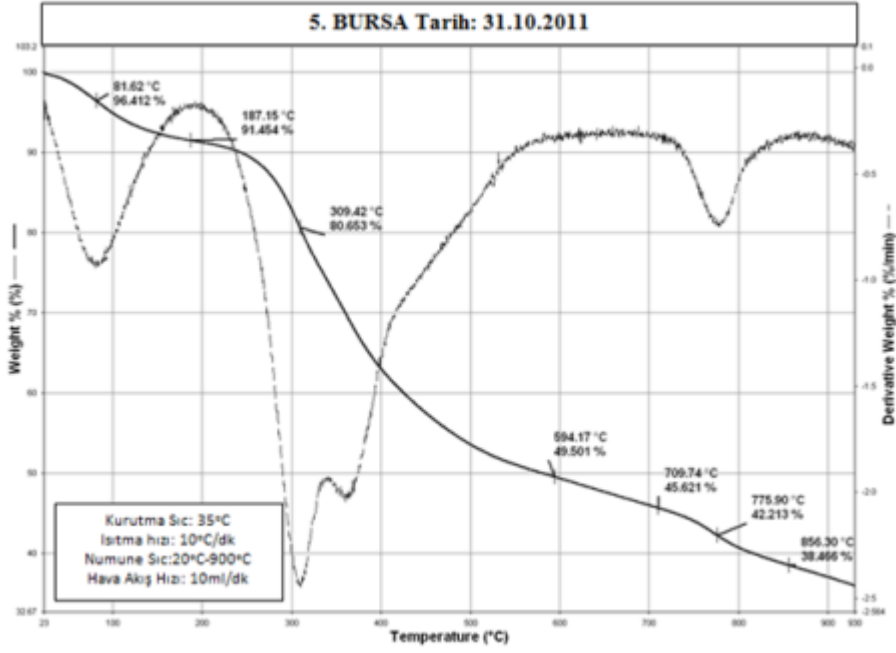
İncelenen çamur örneklerinde genel olarak kok maddesinin yanma hızının en yüksek olduğu sıcaklık 800°C civarındadır. Bunlara Adana, Ankara, Bursa ve Samsun/Bafra çamurları iyi bir örnek teşkil etmektedir. Bu TGAlar da Şekil 11.6, Şekil 11.7, Şekil 11.8 ve Şekil 11.9’da verilmiştir.



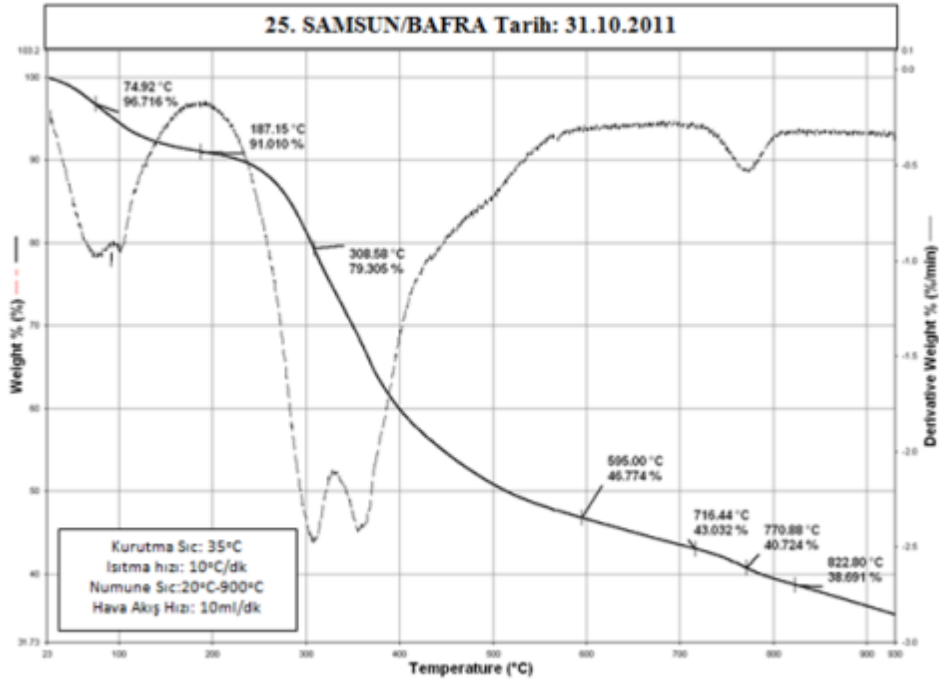
Şekil 11.6: Adana Çamur Numunesinin Kuru Hava Ortamında 10°C/dk Isıtma Hızında Elde Edilen Termogramı



Şekil 11.7: Ankara Çamur Numunesinin Kuru Hava Ortamında 10°C/dk Isıtma Hızında Elde Edilen Termogramı



Şekil 11.8: Bursa Çamur Numunesinin Kuru Hava Ortamında 10°C/dk Isıtma Hızında Elde Edilen Termogramı



Şekil 11.9: Samsun/Bafra Çamur Numunesinin Kuru Hava Ortamında 10°C/dk Isıtma Hızında Elde Edilen Termogramı

Şekillerden görüldüğü gibi Termogramlar birbirine çok benzerdir. İki dönemdeki örneklerde iki tip pik oluştuğu gözlenmiştir. Pikler ya Şekil 11.6 ve Şekil 11.7'deki gibi yüksek değerlere ulaşmakta ya da Şekil 11.8 ve Şekil 11.9'daki gibi oldukça düşük seviyelerde seyretmektedir. Bu sonuç sabit karbonun uçucu maddeye göre daha basit bir mekanizma ile yandığını ortaya koymaktadır.

Termogramlardan elde edilen bir diğer sonuç, sabit karbon yanmasının daha dar bir sıcaklık aralığında gerçekleşmesidir. Bütün örneklerde sabit karbon maksimum 150°C'lik bir sıcaklık aralığında yanmaktadır. Ayrıca yanma başlangıç ve bitiş sıcaklığı görece daha benzerdir. Bütün bu sonuçlar sabit karbon yanmasının arıtma çamurlarının yakılabilirliğine ilişkin ayırıcı bir özellik ortaya koymadığını göstermektedir. Termogravimetrik analizde incelenmesi gereken en önemli parametrenin uçucu madde yanması olduğu, uçucu maddenin yanma pik hızının, süresinin ve kütle kaybının yakılabilirliği etkilediği görülmüştür.

Çamur Örneklerinin XRF (X-Ray Fluorescence) Analizi:

XRF analizi yanma sonucu oluşacak külün içeriğini ortaya koymaktadır. XRF analizi ile numune içinde bir kütle dengesi yapılabilmektedir. Buna göre öncelikle örnekteki yanma kaybı hesaplanmaktadır. Daha sonra içerikteki oksitler hesaplanmaktadır. Dikkat edileceği üzere yukarıdaki tabloda her numune için verilen oksit oranları ile yanma kaybının toplamı %100'e denk gelmektedir.

Tablo 11.11: Kış Dönemi Çamur Örneklerinin XRF Analizi ile Elde Edilen Oksit İçeriği

	Na2O	MgO	Al2O3	SiO2	P2O5	SO3	Cl	K2O	CaO	TiO2	V2O5	Cr2O3	MnO	Fe2O3	Yanma Kaybı
	%	%	%	%	%	%	%	%	%	%	%	%	%	%	%
Adana	0,073	1,941	4,162	17,070	2,597	3,059	0,082	0,741	13,180	0,410	0,010	0,027	0,039	2,920	52,740
Ankara	0,088	1,578	5,447	20,440	3,924	3,691	0,101	0,954	12,860	0,467	0,012	0,062	0,137	3,668	46,320
Antalya/Kemer	0,070	1,092	1,936	10,830	2,804	3,068	0,248	0,616	6,735	0,371	0,007	0,025	0,045	1,880	70,320
Antalya/Lara	0,085	1,119	1,524	5,644	5,694	3,332	0,164	0,735	8,155	0,270	0,004	0,039	0,040	3,102	70,630
Bursa	0,077	1,599	3,491	13,640	3,730	2,506	0,147	1,120	7,774	0,372	0,012	0,112	0,065	2,832	62,840
Denizli	0,060	0,667	1,627	6,894	2,329	1,851	0,079	0,619	8,891	0,178	0,008	0,020	0,022	1,483	74,430
Düzce	0,074	0,910	3,761	15,260	2,834	4,125	0,104	0,624	7,219	0,499	0,006	0,034	0,228	2,615	61,980
Düzce/Akçakoca	0,060	0,841	2,419	9,520	3,230	2,471	0,090	0,802	4,992	0,297	0,006	0,015	0,044	1,932	72,480
Elazığ	0,069	1,333	2,824	11,930	1,746	2,548	0,119	0,487	11,460	0,312	0,015	0,026	0,031	2,054	64,940
Erzincan	0,070	4,197	2,421	13,560	1,249	3,640	0,064	0,402	7,760	0,394	0,013	0,052	0,043	3,304	62,490
Gaziantep 1	0,078	0,875	2,342	8,178	2,895	3,245	0,094	0,398	12,920	0,261	0,009	0,180	0,024	1,746	66,930
Gaziantep 2	0,069	0,855	2,246	9,343	3,398	2,708	0,104	0,904	8,810	0,276	0,006	0,020	0,060	1,549	69,820
İstanbul/Bahcesehir	0,066	0,818	2,763	11,420	3,427	2,557	0,101	0,996	6,809	0,327	0,007	0,009	0,091	1,670	68,500
izmir/Çiğli	0,520	1,072	1,851	6,974	3,589	2,506	0,769	1,111	4,783	0,210	0,006	0,032	0,085	1,568	74,470
izmir/Foça	0,091	0,994	2,694	9,430	5,462	3,420	0,176	0,765	9,335	0,286	0,010	0,032	0,102	4,241	62,840
Kayseri	0,084	1,217	2,891	10,890	4,393	2,736	0,121	1,181	10,240	0,258	0,009	0,082	0,030	2,504	62,980
Kocaeli/Karamürsel	0,790	1,715	5,448	21,670	3,294	3,059	0,763	1,247	6,994	0,467	0,015	0,014	0,411	3,982	50,560
Kocaeli/Kullar	0,091	1,069	5,649	18,170	4,513	3,414	0,054	1,156	6,912	0,400	0,012	0,020	0,085	5,935	51,700
Malatya	0,063	0,994	1,669	6,617	4,008	2,271	0,117	0,956	6,610	0,235	0,007	0,023	0,039	1,483	74,830
Manisa	0,083	1,326	4,490	18,350	4,550	2,976	0,067	0,930	12,020	0,586	0,009	0,231	0,071	2,882	51,430
Mersin	0,076	2,058	3,455	15,600	3,196	3,104	0,076	0,668	15,170	0,366	0,011	0,049	0,040	2,781	53,440
Nevşehir	0,053	0,605	1,448	8,417	2,739	2,518	0,116	0,752	3,911	0,213	0,012	0,007	0,034	0,810	78,930
Samsun/19 Mayıs	0,158	1,008	2,490	9,271	3,417	3,667	0,318	0,619	3,444	0,294	0,010	0,007	0,283	2,692	72,220
Samsun/Bafra	0,076	1,373	3,909	15,210	2,818	3,362	0,234	1,000	7,415	0,351	0,012	0,038	0,106	2,722	61,380
Siirt	0,060	1,358	1,900	8,296	3,153	2,127	0,070	1,025	5,408	0,182	0,009	0,008	0,019	1,434	74,380
Van	0,058	1,273	1,760	8,459	1,845	1,998	0,095	0,503	6,697	0,209	0,010	0,021	0,033	1,713	75,830
Yozgat	0,061	0,789	1,850	7,170	1,975	2,641	0,113	0,435	5,357	0,222	0,010	0,109	0,035	1,722	77,880

XRF oksit analiz sonuçları içerisinde ilk göze çarpan, silisyum oksit (SiO_2) ve kalsiyum oksit (CaO) oranlarının diğer oksitlere göre gözle görülür bir farkla bulunmasıdır. Örneklerin büyük çoğunluğunda silisyum oksit tek başına bütün oksit içeriğinin %40-%50'sini oluşturmaktadır. Kalan miktarın neredeyse yarısını da kalsiyum oksitin oluşturduğu söylenebilir. Diğer önemli oksitler; alüminyum oksit (Al_2O_3), fosfor oksit (P_2O_5), magnezyum oksit (MgO) ve demir III oksit (Fe_2O_3)

olarak listelenebilir. Yukarıda sayılan oksitlerdeki elementlerin doğada yüksek oranda bulunması şaşırtıcı değildir. Elde edilen sonuçların daha sağlıklı bir değerlendirmesini yapabilmek için sonuçların yaz dönemi örnekleri ile karşılaştırılması ve genel sonuçlara bu şekilde ulaşılması gereklidir.

Arıtma çamurunun çimento fabrikasında ek yakıt olarak kullanılması XRF analizini önemli kılan bir diğer etmendir. Kullanılan çamurun çimento kalitesini ne kadar düşüreceği içeriğindeki oksit kompozisyonu ile orantılıdır. Çamurun oksit içeriğinin çimentonun yapısı ile uyumlu olmasının olumlu etki yaratacağı düşünülmektedir. Bu yüzden görülen oksit oranları arıtma çamurunun çimento fabrikasında yakılması sırasında önem kazanacaktır.

Aşağıda verilen Tablo 11.12’de XRF analizi ile elde edilen metal konsantrasyonları mevcuttur.

Tablo 11.12: Kış Dönemi Çamur Örneklerinin XRF Analizi ile Elde Edilen Metal İçeriği

	Co	Ni	Cu	Zn	Ga	Ge	As	Se	Br	Rb	Sr	Y	Zr	Nb	Mo	Ag	Cd	In
	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm
Adana	17	128,3	238,7	927,3	3,7	1,3	11,7	2,5	10	28,5	216,7	5,3	94,9	3	3,2	6,9	1,2	0,8
Ankara	37,9	87,2	256,4	2584	1,5	6,6	17,8	2,3	9,4	34	361,1	6,3	93,9	6,5	8,1	6,4	5,6	0,8
Antalya/Kemer	19,1	60,2	175,8	831,6	1	1	8	1,7	344,1	16,8	168,9	4,2	49,5	4,4	2,2	4,9	0,6	0,7
Antalya/Lara	18,7	37,2	154,1	2112	1,4	1,9	11,7	1,7	1435	20,7	249,4	0,7	32,9	2,4	9,9	1,6	0,9	0,7
Bursa	36,6	98	242,2	3587	1,6	2,5	9,7	3,9	145,3	26,9	121,4	4,9	62,7	5,2	4,6	5,9	0,7	0,9
Denizli	19,7	54,4	88,3	470,7	3,1	1,4	23,8	1,6	12,2	16,2	250,5	3,6	59,4	5,2	9	2	1,4	0,7
Düzce	21,8	43,3	119,9	738,9	2,3	1,1	8,9	1,9	193,2	19,8	122,9	5,5	45,3	5	7,8	2,7	0,6	0,7
Düzce/Akçakoca	24,2	43,8	157,5	1013	0,7	2,6	3,7	3,5	147	23,6	272,4	4,9	53,1	4,8	7,7	5	0,9	0,7
Elazığ	25,4	256	188,3	770,4	2,1	0,9	7,8	1,4	7,2	10,3	125,7	3,8	39,8	5,8	8,8	6,5	1	1
Erzincan	18,6	66,9	143,7	825	1,2	0,8	8,9	1,7	31	11,7	148,9	3,5	41,4	3,8	6,6	4,6	42,7	1,1
Gaziantep 1	18	90,5	187,5	1699	1,4	1,2	2,9	1,9	17,3	10,4	239,1	1,4	33,5	3,5	9,2	4	1,8	0,7
Gaziantep 2	12	55,3	127,5	1020	1,6	1,5	4,1	2	109,8	18,3	204,8	3,4	45,9	5,7	5,6	1,7	1,5	0,9
İstanbul/Bahcesehir	16,6	43,9	128	976,7	1	1,3	7,2	2,7	212,8	27,4	233,3	3,1	57,2	5,4	5,3	2,9	1,2	1,5
izmir/Çiğli	12	63	199	830,8	0,7	1,7	22,9	2,1	159,6	21,5	166,1	2,7	41,9	1,9	3,4	3,1	1,3	0,6
izmir/Foça	21,5	41	1075	1520	1,4	1,9	14,5	2,2	857,7	29,7	335,2	0,9	45	5,8	10,6	6,4	1,4	0,8
Kayseri	14,6	210,9	351,9	2102	1,7	2,2	19,6	3,4	119,7	25,1	198,1	0,9	82,4	2,7	9,2	6,8	287	0,9
Kocaeli/Karamürsel	23,2	42,5	134,7	690,5	4,7	1,2	11,2	3,1	894,7	46,4	281,8	7,9	83,4	6,7	7,8	2,6	0,6	0,8
Kocaeli/Kullar	25	34,1	177,7	12250	3,1	7,3	9	2,9	27,3	36,1	176,4	8	77,6	3,1	3,4	2	0,9	0,7
Malatya	16,6	47,7	148,3	636,4	1,4	0,9	9,5	2,2	198,7	13,9	157,8	3	42,8	4,9	6,9	1,9	0,6	0,6
Manisa	40,1	424,6	1335	3763	1,6	6,4	25,2	3,1	72,2	33,2	229,2	6,8	86	7,6	7,9	10,3	1,1	0,8
Mersin	21,5	177,5	223	895,2	0,8	1,6	5,6	1,5	13,3	24,1	219,5	5,2	49,8	7,6	7,3	4,4	2,2	0,8
Nevşehir	14,7	25,2	119,5	780	0,5	1,4	13,3	2,2	184	20,5	144,8	1,4	35,5	4,8	9,3	4,1	1,3	0,6
Samsun/19 Mayıs	19,6	35,8	272,8	1082	1,4	1,4	26,2	7	66,2	14,9	223,9	2,8	35,4	4,9	5	1	0,6	0,7
Samsun/Bafra	16	47,9	121,9	814,5	3	1,5	10,1	3,1	54,8	25,9	244,9	5,3	52,7	6,2	7,8	6,7	2,9	0,8
Siirt	14,5	63,3	96,5	666,3	1,4	0,8	5,6	3,4	29,8	13,6	137,7	3,1	32,8	2	10,9	0,7	2	0,6
Van	13,1	74,3	112,2	905,6	0,9	0,8	15,5	3,6	22,6	13,9	160,5	4,1	38,7	1,9	14	2,7	1,6	0,6
Yozgat	19	36,8	167	601,4	2,1	1	7,4	2,4	16,9	12,4	158,1	2,3	34,7	2,3	8,5	8,6	2,4	1,6

Tablo 11.12 (devam): Kış Dönemi Çamur Örneklerinin XRF Analizi ile Elde Edilen Metal İçeriği

	Sn	Sb	Te	I	Cs	Ba	La	Ce	Hf	Ta	W	Hg	Tl	Pb	Bi	Th	U
	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm
Adana	16,2	7,9	1,2	9,4	3,8	503,7	16,6	19,3	10	13	113,3	2,2	2	352,9	2,2	1,3	7
Ankara	22,6	3,2	1,3	6,4	3,8	455,1	11,6	21,8	11	14	17	3,4	1,5	73,6	1,4	1	6,2
Antalya/Kemer	9,5	2,5	1,1	41,4	3,4	197,8	15,8	9,6	8,3	10	25,7	1,3	1	29,4	0,9	0,8	7,7
Antalya/Lara	10,7	1,7	1,2	97,6	5,2	205,2	10,7	9,7	8,7	11	250,3	3	3,6	28,4	1,6	1,4	5
Bursa	28	36,4	1,2	98,7	3,5	285,9	9,6	16,2	10	13	201	2,7	0,8	41,7	1,5	0,9	5,6
Denizli	6,2	5	1,2	12,9	3,6	194,8	11,1	29,1	5,8	7,4	189,1	2,2	0,6	20,7	0,8	0,6	11,7
Düzce	8,9	1,4	1,2	35	3,4	181,6	12,2	9,7	6,7	8,3	173,4	2,1	0,7	26,9	0,8	0,7	4,5
Düzce/Akçakoca	16,3	1	1,2	46,8	3,6	457,8	8,4	9,7	8,5	10,4	60,1	1,8	0,8	48,4	1	0,9	4,9
Elazığ	20,7	0,9	1,2	2,1	3,6	331,7	15,3	16	9,1	11	9,7	0,6	1,1	36,8	0,9	0,8	5,9
Erzincan	15,4	6,1	1,2	4,7	2,9	297,7	7,3	15,8	7,8	12,3	157,7	2,2	1	70,9	1,1	0,9	5,8
Gaziantep 1	13,9	5,3	1,2	7,8	3,6	224	7,3	12	9,1	11	61,8	2,9	1,5	184,2	0,7	1,1	5,7
Gaziantep 2	10,5	1	1,3	77,8	3,6	212,4	7,3	13,6	7,2	8,9	11,7	1,2	0,5	24,1	0,9	0,7	4,4
İstanbul/Bahcesehir	16,5	2,1	1,3	162,6	3,4	224,5	13,9	19,4	7	10,1	76,3	1,6	1,6	25,5	1,4	0,8	10,2
izmir/Çiğli	10,8	2,1	1,2	132	2,9	265,2	7	9,5	8,4	10	88,4	1,7	1,3	56,8	0,7	0,8	3,8
izmir/Foça	12,4	3	1,3	147,5	3,7	377,6	7,4	18,7	22	28	29,7	1,7	3	62,4	0,6	1,3	5,8
Kayseri	53,4	20,2	1,2	39	3,7	331,6	7,4	17,9	12	16	161,7	2,5	1,7	322	1,7	1,3	5,5
Kocaeli/Karamürsel	8,8	1,1	1,3	171,4	3,7	360,5	15,4	26,9	8	10	77,7	1,9	2,3	44,9	0,9	3,8	7
Kocaeli/Kullar	8,3	1,5	1,3	49,1	3,8	300,4	13,2	27,6	11	14	36	7,9	1,9	76,9	1,1	1,2	7
Malatya	13,4	1,9	1,1	49,1	3,3	160	7,3	9,7	7,2	9	53,2	1,4	1	31,3	0,8	0,7	11,8
Manisa	55,9	5,6	1,3	11,8	3,8	606,2	17,4	25,8	24	30	20	4,1	1,6	101,7	1,4	1	6
Mersin	12	17,9	1,2	11,6	3,5	266,9	11,4	28,5	9,9	13	142,8	2,3	0,8	94,9	1,2	0,9	6,5
Nevşehir	11,3	2,3	1,1	62,4	3,4	258,2	6,8	23,1	6	7,6	76,9	1,5	1,7	29,1	0,8	0,7	15,9
Samsun/19 Mayıs	4	0,9	1,2	123	3,6	369,7	7,2	17,4	10	12	152,4	2,1	1,2	23,3	0,6	0,8	4,5
Samsun/Bafra	5,1	1,3	1,2	80	3,5	288,1	7,1	16,3	7,4	9,1	183,1	2,3	1,4	49,9	1,7	0,9	11,5
Siirt	4,8	2	1,2	13,5	3,4	132	12,9	25	5,9	7,3	36,1	1,1	0,7	19,9	0,7	0,6	4,3
Van	4,8	1,9	1,1	20,4	3,5	278,8	10,2	27,8	6,7	8,2	141,3	2	0,9	23,8	0,5	0,7	4,6
Yozgat	12	1,8	1,2	16	3,5	253,3	7,1	20	7,2	9,3	95,3	1,2	0,4	22,3	0,7	0,6	10,6

Tablo 11.12’de elementlerin doğada az ya da çok bulunmasına göre bir eğilim olduğu gözlenmiştir. Kobalt (Co), Nikel (Ni), Bakır(Cu), Çinko (Zn), Brom (Br), Stronsiyum (Sr) ve Baryum (Ba) dışında kalan elementlere iz elementler denebilir. Bu yüzden değerlendirilmesi gereken sonuç konsantrasyonu yüksek olan parametrelerin hangi tesislerde çok hangi tesislerde az olduğudur. Örneğin, Çinko (Zn) bütün tesislerde en yüksek konsantrasyonda bulunan elementtir. Antalya’nın iki tesisini karşılaştırdığımızda, evsel nitelikli Kemer tesisinde, kentsel nitelikli Lara tesisine oranla daha az çinko bulunduğu görülmektedir. Ancak aynı değerlendirme, tesisten tesise büyük farklılıklar gösteren Brom (Br) için yapılamamaktadır. Dolayısıyla çamurdaki bazı metallerin konsantrasyonu tesislerin yalnızca evsel/kentsel olması durumuna bağlı değildir. Ancak endüstriyel atıksu katkısının yüksek olduğu tesislerde XRF ile ölçülen endüstriyel kullanıma sahip metallerin daha yüksek konsantrasyonda olduğu görülmektedir.

Benzer analizler yaz dönemi örnekleri üzerinde de yapılmıştır. Tablo 11.13’de XRF ile örneklerin XRF analizi ile elde edilen oksit içeriği mevcuttur.

Tablo 11.13: Yaz Dönemi Çamur Örneklerinin XRF Analizi ile Elde Edilen Oksit İçeriği

	Na ₂ O	MgO	Al ₂ O ₃	SiO ₂	P ₂ O ₅	SO ₃	Cl	K ₂ O	CaO	TiO ₂	V ₂ O ₅	Cr ₂ O ₃	MnO	Fe ₂ O ₃	Yanma Kaybı
	%	%	%	%	%	%	%	%	%	%	%	%	%	%	%
Adana	0,086	2,013	4,321	17,350	2,485	4,035	0,132	0,690	14,640	0,528	0,011	0,036	0,044	3,087	50,440
Ankara	0,084	1,560	5,825	21,260	3,895	3,598	0,068	0,871	11,900	0,558	0,016	0,046	0,105	3,363	46,760
Antalya/Kemer	0,172	0,902	0,719	3,366	3,532	2,912	0,319	0,563	3,506	0,154	0,003	0,006	0,019	0,835	82,730
Antalya/Lara	0,092	1,208	1,305	4,888	6,382	3,333	0,207	0,621	7,944	0,263	0,005	0,027	0,035	3,301	70,450
Bursa	0,081	1,823	2,410	9,764	5,109	3,394	0,215	1,225	7,390	0,427	0,009	0,126	0,057	2,273	64,980
Denizli	0,086	1,646	3,211	12,260	4,104	3,369	0,105	0,596	16,490	0,461	0,013	0,035	0,032	2,250	55,840
Düzce	0,075	1,035	3,908	15,500	3,052	3,850	0,122	0,653	7,707	0,489	0,006	0,037	0,225	2,568	60,740
Düzce/Akçakoca	0,064	0,936	2,593	11,360	3,615	2,351	0,072	1,002	4,060	0,381	0,008	0,005	0,050	1,796	71,840
Elazığ	0,074	1,754	2,010	9,601	3,515	2,788	0,155	0,654	9,161	0,364	0,012	0,012	0,026	1,623	68,740
Erzincan	0,067	4,373	2,508	13,540	1,551	3,530	0,076	0,377	7,034	0,457	0,015	0,038	0,039	2,944	63,480
Gaskil	0,076	0,989	2,400	8,511	2,452	3,301	0,085	0,372	13,020	0,343	0,011	0,161	0,027	2,031	66,840
Gaski2	0,080	1,017	3,641	12,680	2,767	2,959	0,101	0,777	15,500	0,393	0,011	0,024	0,050	2,564	57,400
İstanbul/Bahçeşehir	0,063	0,958	2,642	10,540	3,656	2,847	0,082	0,857	6,717	0,476	0,008	0,007	0,055	1,471	69,440
İzmir/Çiğli	0,900	0,996	1,433	5,423	2,511	2,986	1,053	0,769	5,326	0,263	0,006	0,026	0,067	1,346	76,490
İzmir/Foça	0,087	1,018	4,441	13,920	4,898	4,319	0,189	1,030	5,840	0,207	0,007	0,008	0,141	4,072	59,940
İzmir/Güneybatı	3,400	1,715	1,955	6,135	5,231	4,090	3,821	1,490	2,652	0,315	0,007	0,004	0,032	9,884	59,980
Kayseri	0,084	1,503	3,426	12,920	5,013	2,991	0,140	1,316	10,650	0,324	0,010	0,059	0,026	2,177	59,380
Kocaeli/Karamürsel	1,470	1,576	2,504	10,070	3,889	4,098	1,209	0,892	4,579	0,331	0,006	0,004	0,349	2,242	66,840
Kocaeli/Kullar	0,090	0,941	4,200	12,890	4,815	3,914	0,077	0,926	7,015	0,380	0,012	0,021	0,160	4,512	60,740
Malatya	0,069	1,558	2,487	13,140	3,942	2,624	0,075	0,845	9,356	0,349	0,009	0,012	0,058	1,765	63,380
Manisa	0,094	1,164	3,853	13,300	3,463	4,680	0,124	0,806	13,250	0,642	0,009	0,464	0,049	2,664	55,830
Mersin	0,086	2,360	3,372	13,990	5,034	3,651	0,086	0,649	14,060	0,438	0,015	0,045	0,042	2,526	52,980
Nevşehir	0,268	0,844	1,639	9,240	3,046	2,410	0,082	0,783	4,293	0,235	0,011	0,006	0,021	0,786	76,920
Samsun/19 Mayıs	0,286	1,382	2,737	10,020	3,435	4,168	0,346	0,682	3,793	0,301	0,006	0,008	0,315	2,855	69,880
Samsun/Bafra	0,218	1,097	2,339	10,290	2,948	3,843	0,243	0,639	5,132	0,411	0,007	0,012	0,116	1,867	70,650
Siirt	0,073	2,056	4,138	16,730	1,980	3,452	0,065	0,833	10,610	0,393	0,015	0,015	0,036	2,901	56,840
Şanlıurfa	0,084	2,790	5,701	23,530	0,959	3,040	0,057	0,839	18,860	0,672	0,025	0,036	0,055	5,038	38,880
Van	0,072	2,617	3,431	15,660	1,709	2,479	0,061	0,752	10,760	0,381	0,016	0,032	0,041	2,844	59,630
Yozgat	0,055	0,785	1,862	7,079	1,833	2,595	0,113	0,371	5,143	0,228	0,011	0,009	0,023	1,404	78,890

Benzer şekilde yaz dönemi örnekleri için XRF analizi ile çamurun ağır metal içeriği ölçülmüştür.

Tablo 11.14 bu sonuçları özetlemektedir.

11.1.1.2. Isıl Analizlerin Bölgesel Değerlendirmesi

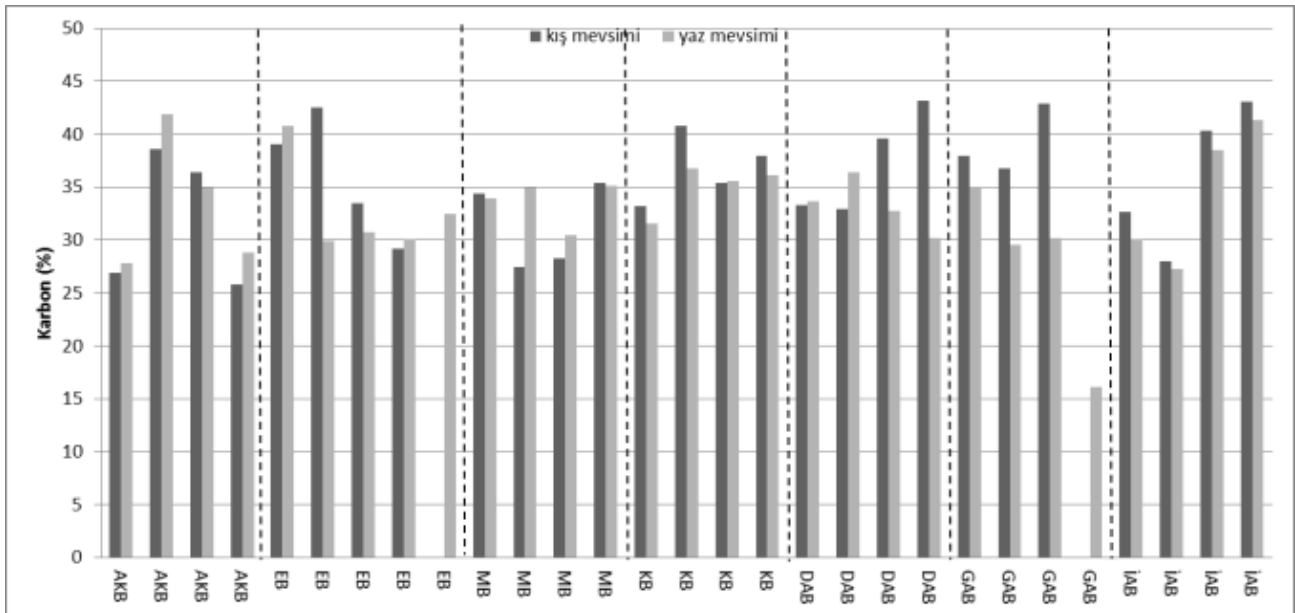
Çamur Örneklerinin Yaklaşık Analizi

Tesislerden alınan çamur örnekleri bölgeler bazında gruplanmış ve yaklaşık analizlerde bölgesel bazlı bir ilişki olup olmadığı değerlendirilmeye çalışılmıştır. Bu sonuçlar Tablo 11.15’de verilmektedir. Tablo 15’den görülebileceği üzere verilen parametrelerden herhangi birinde bölgesel ortak bir eğilim görülmemektedir. Bu parametreler yapıları itibarı ile daha çok atıksu arıtma ve daha da fazla miktarda çamur arıtma süreçleri tarafından belirlenen parametrelerdir. Bu nedenle de tesisin bulunduğu bölgeden bağımsız olarak tesise özel faktörler tarafından belirlenmektedir.

Çamur Örneklerinin Elemental Analizi

Tesislerden alınan çamur örnekleri için yapılan elemental analiz üzerinden bir bölgesel değerlendirme yapılmaya çalışılmıştır. Bu analizlerin sonuçları bölgesel olarak gruplanmış ve

Tablo 11.16’da bir araya getirilmiştir. Sonuçlara daha detaylı bakabilmek için ölçülen elemental analiz parametreleri arasından yakma için en kritik olabileceği düşünülen % karbon miktarı grafiksel olarak da Şekil 11.9’da gösterilmektedir. Ancak Tablo 11.15 ve Şekil 11.9 önemli sayılabilecek bir ilişki göstermemektedir. Bunun da sebebi çamurun elemental analizinin bölgesel bir bazda değişimden, daha çok atıksu ve çamur arıtım süreçleriyle ilişkili olarak değişim göstermesidir. Bu değerlendirmeler bir sonraki bölümde yapılmaktadır.



Şekil 11.10: Örnek Alınan Tesislerde % Karbonun Bölgesel Dağılımı

Tablo 11.15: Çamur Örneklerinin Yaklaşık Analizlerinin Bölgesel Bazda Özetlenmesi

Tesisin Yer Aldığı Bölge	Tesis İsmi	KIŞ MEVSİMİ				YAZ MEVSİMİ			
		Nem	Uçucu Madde	Sabit Karbon	Kül	Nem	Uçucu Madde	Sabit Karbon	Kül
Akdeniz Bölgesi	Adana	13,72	48,28	5,20	46,52	5,57±0,073	49,51±0,790	9,75	40,74±0,194
	Antalya/Kemer	7,60	60,83	10,60	28,58	6,51±0,075	83,64±0,127	6,55	9,81±0,0230
	Antalya/Lara	7,27	63,56	9,95	26,49	6,5±0,0440	71,11±0,015	8,60	20,29±0,029
	Mersin	5,23	47,11	5,32	47,57	6,21±0,102	52,15±0,158	11,91	35,94±1,396
Ege Bölgesi	İzmir/Çiğli	12,16	65,70	7,87	26,43	8,05±0,047	72,79±0,045	9,81	17,40±0,042
	Denizli	5,62	65,81	7,32	26,87	4,61±0,093	52,10±0,365	12,32	35,58±0,050
	İzmir/Foça	8,16	55,93	9,60	34,48	9,42±0,194	64,89±0,127	7,56	27,54±0,088
	Manisa	5,31	58,10	6,45	35,45	9,33±0,120	53,13±1,361	12,96	33,91±0,409
Marmara Bölgesi	İzmir Güneybatı	-	-	-	-	10,84±0,157	59,79±0,177	16,90	23,31±0,043
	Bursa	9,91	54,43	12,33	33,24	5,78±0,107	66,56±0,123	8,00	25,44±0,059
	Kocaeli/Karamürsel	6,96	46,79	7,04	46,17	6,78±0,110	70,28±0,127	5,57	24,15±0,045
	Kocaeli/Kullar	6,88	51,19	5,73	43,08	10,98±0,099	61,04±0,038	13,07	25,9±0,058
Karadeniz Bölgesi	İstanbul/Bahçeşehir	10,27	62,17	9,43	28,40	6,56±0,028	68,82±0,093	10,59	20,58±0,093
	Düzce	6,76	61,32	9,03	29,65	9,67±0,061	58,94±0,217	13,92	27,14±0,246
	Samsun/19 Mayıs	8,25	62,43	11,78	25,79	6,94±0,050	71,97±0,123	7,92	20,11±0,106
	Samsun/Bafra	7,35	56,67	7,79	35,54	6,62±0,138	71,86±0,033	6,84	21,30±0,079
Doğu A. Bölgesi	Düzce/Akçakoca	7,43	63,59	9,63	26,77	4,28±0,085	72,84±1,194	2,83	24,33±0,115
	Elazığ	3,80	53,97	11,62	34,41	5,77±0,020	68,61±0,314	5,32	26,07±0,486
	Erzincan	5,40	49,24	10,93	39,83	8,61±0,056	51,19±0,806	23,54	25,26±1,744
	Malatya	8,85	63,16	12,55	24,29	6,88±0,070	65,61±0,094	8,58	25,81±0,104
Güneydoğu A. Bölgesi	Van	5,54	63,44	9,00	27,55	3,46±0,055	54,97±1,695	6,29	38,74±0,064
	Gaziantep 1	7,33	61,17	9,49	29,34	5,62±0,052	63,43±0,163	7,22	29,35±0,154
	Gaziantep 2	11,55	59,29	12,83	27,87	11,73±0,107	53,80±0,158	21,27	24,93±0,017
	Siirt	9,27	65,28	10,52	24,20	4,68±0,038	54,31±0,535	10,78	34,91±0,807
İç Anadolu Bölgesi	Şanlıurfa	-	-	-	-	1,56±0,061	27,32±0,332	4,39	68,29±0,977
	Kayseri	9,44	58,12	7,98	33,90	5,35±0,036	59,87±0,174	8,19	31,94±0,070
	Ankara	7,00	47,85	5,04	47,11	4,52±0,042	47,89±0,332	8,19	43,93±0,286
	Nevşehir	8,40	62,07	15,19	22,74	6,70±0,113	76,00±0,383	6,99	17,02±0,091
	Yozgat	11,32	64,61	9,63	25,76	6,50±0,094	76,07±0,199	7,06	16,87±0,199

Tablo 11.16: Çamur Örneklerinin Elemental Analizlerinin Bölgesel Bazda Özetlenmesi

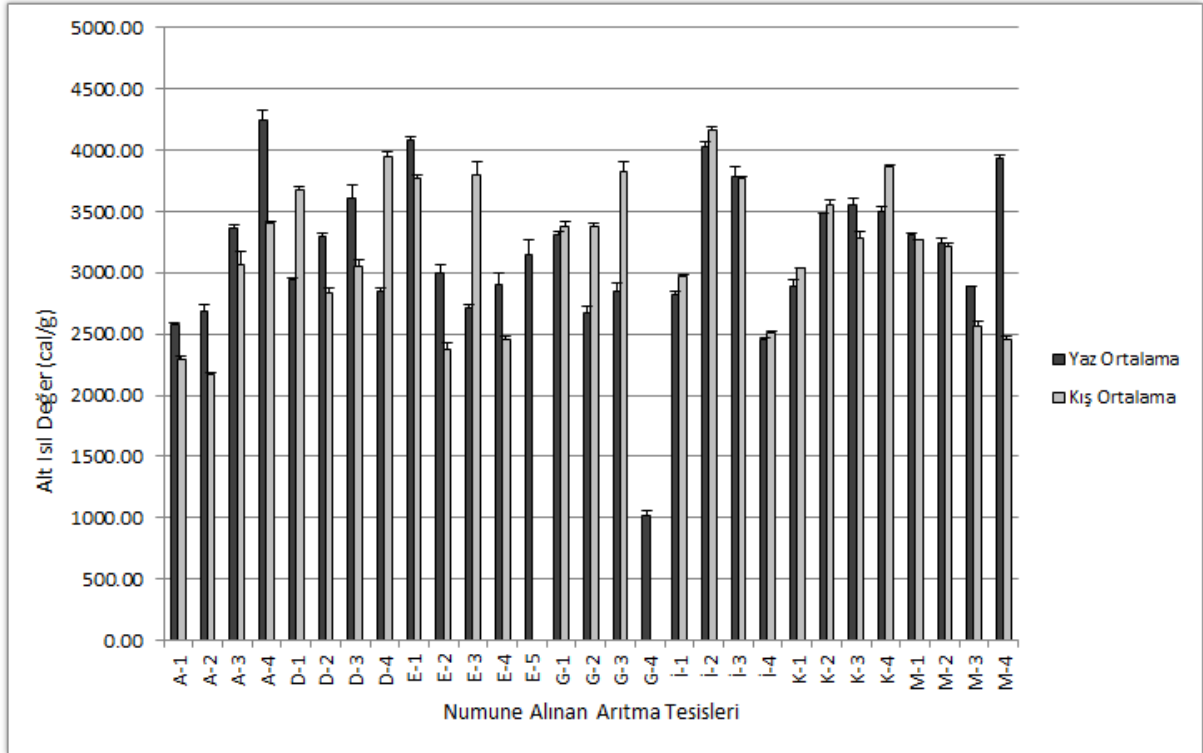
KIŞ MEVSİMİ

YAZ MEVSİMİ

Tesisin Yer Aldığı Bölge	İsim	Karbon	Hidrojen	Azot	Kükürt	Oksijen	Karbon	Hidrojen	Azot	Kükürt	Oksijen
Akdeniz Bölgesi	Adana	26,90±0,063	4,26±0,006	3,66±0,095	1,23±0,028	17,43	27,82±0,149	4,66±0,012	3,48±0,017	1,25±0,014	22,01
	Antalya/Kemer	38,63±0,037	6,74±0,027	6,20±0,016	1,31±0,017	18,54	41,90±0,057	7,69±0,037	7,85±0,011	1,27±0,013	31,48
	Antalya/Lara	36,36±0,336	6,33±0,039	5,08±0,043	1,09±0,015	24,65	34,9±0,146	6,4±0,033	6,03±0,036	1,29±0,009	31,09
Ege Bölgesi	Mersin	25,82±0,119	3,85±0,027	2,91±0,104	1,19±0,013	18,66	28,79±0,043	5,00±0,014	3,96±0,004	1,03±0,030	25,21
	İzmir/Çiğli	39,08±0,090	6,73±0,038	6,10±0,147	1,05±0,008	28,27	40,79±0,051	7,35±0,110	5,33±0,004	1,37±0,021	27,76
	Denizli	42,49±0,125	7,00±0,021	3,60±0,009	0,65±0,021	19,39	29,90±0,142	4,96±0,009	3,93±0,005	0,89±0,024	24,69
	İzmir/Foça	33,51±0,089	5,61±0,017	5,13±0,051	1,29±0,009	19,98	30,75±0,068	5,58±0,028	4,56±0,002	1,49±0,012	30,08
	Manisa	29,19±0,338	4,75±0,018	3,31±0,015	1,08±0,006	26,22	30,06±0,164	5,18±0,015	3,08±0,011	1,59±0,028	26,16
	İzmir Güneybatı	-	-	-	-	-	32,43±0,142	6,04±0,061	5,17±0,017	1,47±0,027	31,59
Marmara Bölgesi	Bursa	34,37±0,049	5,76±0,060	5,62±0,126	0,88±0,012	20,13	33,97±0,18	6,03±0,04	5,60±0,04	1,19±0,026	27,80
	Kocaeli/Karamürsel	27,47±0,023	4,49±0,015	4,52±0,098	0,98±0,004	16,37	34,95±0,055	6,21±0,007	6,30±0,005	1,59±0,015	26,80
	Kocaeli/Kullar	28,24±0,105	4,94±0,019	4,65±0,016	1,08±0,002	18,01	30,44±0,061	5,67±0,009	5,16±0,013	1,38±0,010	31,44
	İstanbul/Bahçeşehir	35,37±0,257	6,13±0,033	5,72±0,038	0,79±0,112	23,33	35,09±0,014	6,3±0,006	6,14±0,009	1,07±0,003	30,81
Karadeniz Bölgesi	Düzce	33,21±0,065	5,35±0,025	5,28±0,060	1,49±0,006	25,02	31,53±0,105	5,39±0,014	4,80±0,005	1,31±0,012	29,83
	Samsun/19 Mayıs	40,74±0,154	6,56±0,021	6,61±0,042	1,50±0,006	18,81	36,75±0,012	6,45±0,019	6,20±0,015	1,64±0,009	28,85
	Samsun/Bafra	35,38±0,166	6,00±0,043	5,90±0,027	1,40±0,005	15,78	35,56±0,021	6,45±0,014	6,85±0,006	1,53±0,006	28,31
	Düzce/Akçakoca	37,97±0,287	6,33±0,070	6,10±0,083	0,94±0,018	21,89	36,15±0,030	6,68±0,033	6,40±0,015	0,96±0,007	25,48
Doğu A. Bölgesi	Elazığ	33,29±0,230	5,09±0,050	2,56±0,018	0,84±0,039	23,81	33,64±0,083	5,92±0,028	6,38±0,025	0,96±0,020	27,03
	Erzincan	32,95±0,034	5,43±0,024	3,07±0,045	1,10±0,005	17,02	36,37±0,14	6,7±0,013	3,70±0,004	1,29±0,017	26,68
	Malatya	39,58±0,169	6,47±0,028	6,73±0,066	0,69±0,012	22,24	32,72±0,077	5,57±0,011	5,20±0,025	0,86±0,024	29,84
	Van	43,14±0,092	7,52±0,039	4,73±0,010	0,74±0,002	16,32	30,21±0,135	5,18±0,099	3,30±0,006	0,70±0,023	21,87
Güneydoğu A. Bölgesi	Gaziantep 1	37,94±0,231	5,98±0,028	4,63±0,004	1,15±0,027	20,96	34,98±0,125	5,71±0,054	3,69±0,016	1,14±0,023	25,13
	Gaziantep 2	36,80±0,203	6,21±0,026	5,38±0,028	0,78±0,018	22,96	29,56±0,078	5,13±0,013	4,18±0,013	1,01±0,037	35,20
	Siirt	42,90±0,205	7,11±0,032	6,23±0,003	0,84±0,015	18,72	30,20±0,135	5,26±0,020	3,81±0,006	1,14±0,038	24,68
	Şanlıurfa	-	-	-	-	-	16,15±0,026	2,12±0,024	1,34±0,065	0,97±0,114	11,14
İç Anadolu Bölgesi	Kayseri	32,64±0,211	5,15±0,194	4,58±0,056	1,04±0,025	22,7	30,13±0,385	5,26±0,089	4,74±0,078	0,99±0,020	26,95
	Ankara	27,98±0,173	4,51±0,010	3,99±0,067	1,16±0,057	15,25	27,24±0,396	4,72±0,068	3,10±0,015	1,06±0,042	19,95
	Nevşehir	40,33±0,211	6,45±0,038	6,75±0,028	1,10±0,010	22,63	38,49±0,084	6,79±0,019	6,69±0,011	0,91±0,026	30,11
	Yozgat	43,09±0,106	7,43±0,089	4,96±0,025	1,09±0,009	17,68	41,30±0,028	7,29±0,033	4,96±0,016	0,97±0,026	28,62

Çamur Örneklerinin Isıl Değer Analizi

Tesislerden alınan örnekler üzerinden yapılan analizler arasında alt ısıl değer analizleri de bulunmaktadır. Bu analizlerin sonuçları hem kış hem de yaz örnekleri için bölgesel bazda Şekil 11.10'da verilmiştir. Şekil 11.10'dan görüldüğü kadarı ile değerler aynı bölge içinde bile hem yüksek hem de düşük değerler alabilmektedir. Örneğin Akdeniz ve İç Anadolu Bölgelerinde iki tesisten alınan çamurlar ısıl değer bakımında görece düşük seviyelerde yer alırken, her iki bölgedeki diğer iki tesisin çamurları ise çok daha yüksek ısıl değerler göstermektedir. Bu değerlendirme diğer bölgeler için de benzerlik gösterebilmektedir. Bu da aslında ısıl değerın bölgeselden çok, asıl başka bir değişkene bağlı olduğunu göstermektedir. Aşağıdaki grafikten Şanlıurfa tesisinin ısıl değerinin çok düşük seviyelerde (yaklaşık 1000 cal/g) yer aldığı görülmektedir. Bu durum tesisten gelen çamurun karbon analizleri ile de örtüşmektedir (Şekil 11.9). Çamurun karbon yüzdesi 16 civarındadır. Bu durum tesiste stabilizasyon havuzu olmasından ve çamurun uzun sürelerde bu havuzda bekletilmesinden kaynaklanmaktadır. Tesisten alınan çamur örneği uzun bekletme süresinde hem karbonunu hem de ısıl değerini kaybetmiştir. Bu da çamurun örneklendiği anda önemli ölçüde stabil halde olduğunu göstermektedir.

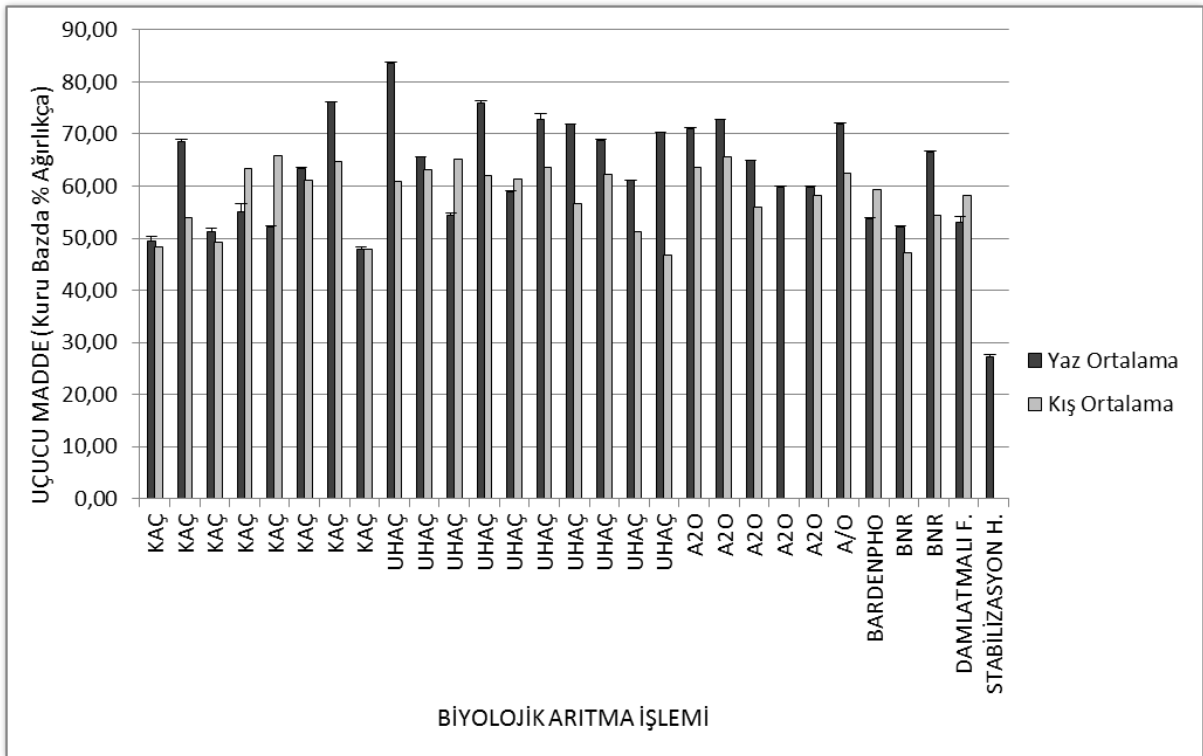


Şekil 11.11: Tesislerden Alınan Çamur Örneklerinin Isıl Değerlerinin Bölgesel Dağılımı

11.1.1.3. Isıl Analizlerin Uygulanan Biyolojik Arıtma İşlemine Göre Değerlendirmesi

Çamur Örneklerinin Yaklaşık Analizi

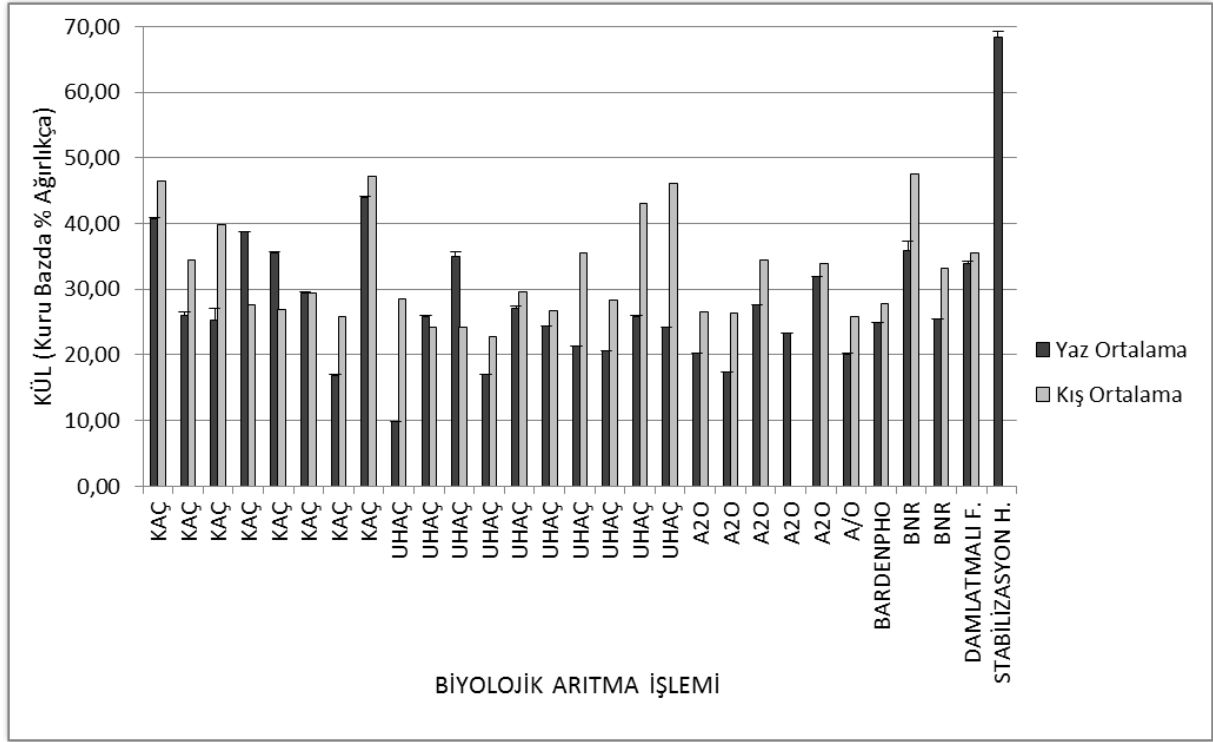
Yukarıda da tartışıldığı gibi yaklaşık analizler nem, kül, uçucu madde ve sabit karbon parametrelerini içermektedir. Bu kısımda verilen nem değeri analizin yapıldığı andaki kurutulmuş numunenin nemidir ve değerlendirmeler için çok büyük önem taşımamaktadır. Çamurun örneklendiği andaki nemin değişimi daha önemli olup, IP 7’de tartışılmaktadır. Çamurun uçucu madde yüzdesi ve külü çamurun yakılabilirliğini birebir etkilemekte olan iki parametredir. Bu iki parametrenin tesislerde uygulanan biyolojik arıtma işlemine göre değişimleri Şekil 11.11 (uçucu madde) ve Şekil 11.12’de (kül miktarı) verilmektedir.



Şekil 11.12: Tesislerden Alınan Çamur Örneklerinin Uçucu Madde İçeriğinin Uygulanan Biyolojik Arıtma Sürecine Göre Değişimi

Verilerden görülebileceği gibi uçucu madde içeriğinin UHAÇ tesislerine göre KAÇ tesislerinde bir miktar daha düşük olduğu izlenmektedir. KAÇ tesislerinde her ne kadar daha aşağıda ve yukarıda değerler yer alsada, ortalama %50 lik bir uçucu madde içeriği; UHAÇ tesislerinde ise yine benzer şekilde veriler daha yüksek ya da düşük değerler alabilse de, ortalama %60 lık bir uçucu madde değeri görülmektedir. Bu değerlerin tam olarak yorumlanabilmesi için çamur stabilizasyonunun da göz önüne alınması gerekmektedir. Nutrient giderimi yapan AO, A2O,

BNR ve Bardenpho tesislerinde ise uçucu madde miktarları UHAÇ tesislerinininkine yakın görülmektedir.



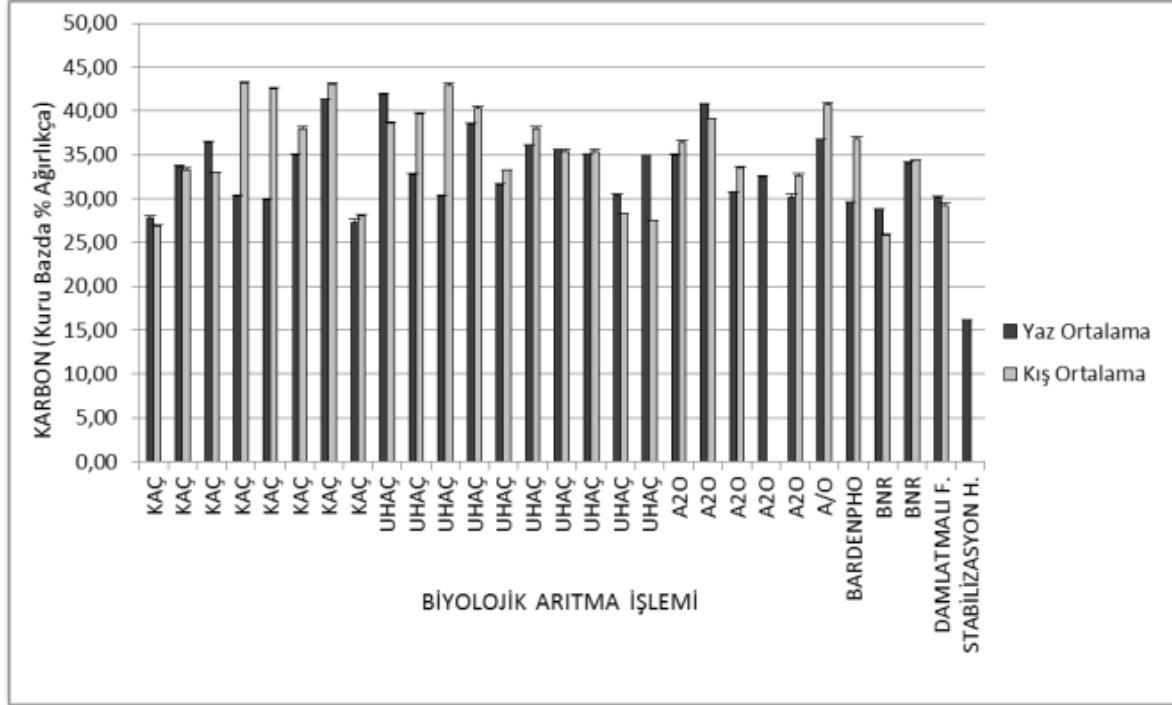
Şekil 11.13: Tesislerden Alınan Çamur Örneklerinin Kül İçeriğinin Uygulanan Biyolojik Arıtma Sürecine Göre Değişimi

Yukarıdaki değerlendirmelerle paralel olarak uçucu madde miktarı az olan tesislerin çamurlarında kül miktarının yüksek olduğunu görülmektedir (Şekil 11.12). Bunun en çarpıcı örneği Şanlıurfa Ceylanpınarı tesisinde görülmektedir. Yukarıda karbon yüzdesi ve alt ısı değeri düşük olarak belirtilen örnekte, Şekil 11.11’den görüldüğü gibi (grafikğin en sağında kalan tek stabilizasyon havuzu tesisi) uçucu madde miktarı düşük, Şekil 11.12’ye göre ise kül miktarı yüksektir.

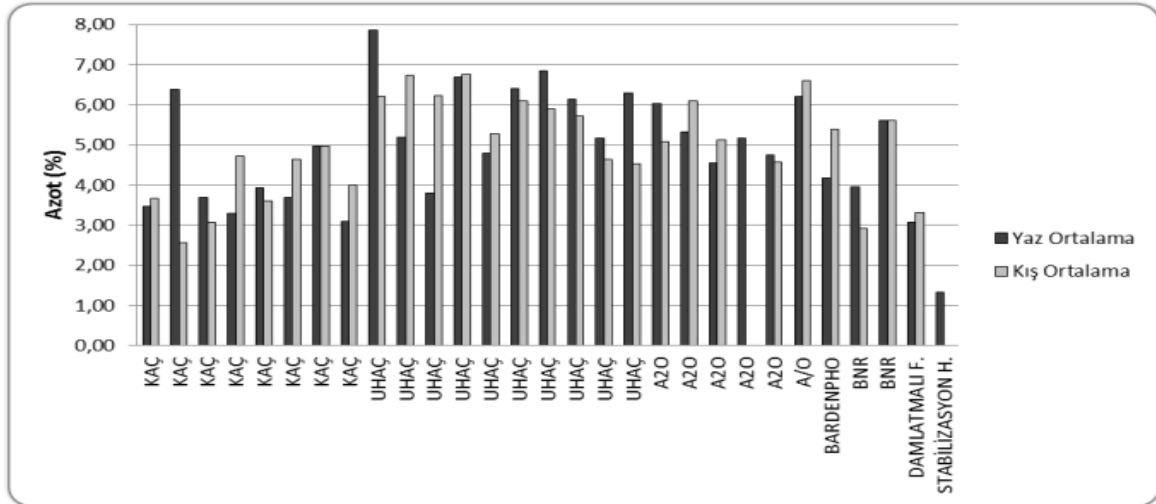
Çamur Örneklerinin Elemental Analizi

Alınan çamur örneklerinin karbon, hidrojen, azot, kükürt ve oksijen değerlerini içeren elemental analiz sonuçları incelendiğinde, karbon değerlerinin özellikle tesisten tesise önemli farklılıklar gösterebildiği görülmektedir. Biyolojik arıtım işlemine göre örnek alınan tesislerdeki karbon miktarı Şekil 11.13’de, azot miktarı ise Şekil 11.14’de görülmektedir. Çamurların karbon içeriklerinin de uçucu madde içeriklerine paralel bir ilişki sergiledikleri görülmektedir. UHAÇ sistemi çalıştıran tesislerin çamurlarında karbon içeriği daha yüksek, KAÇ sistemi çalıştıran tesislerin çamurlarında ise daha düşük değerlerde izlenmektedir. Nutrient giderim tesislerinin değerlerinin ise genelde KAÇ ve UHAÇ tesisi değerlerinin arasında yer aldığı görülmektedir.

Şekil 11.14'den de çamurların % azot dağılımının yine UHAÇ tesisleri için en yüksek değerlerde seyrettiği, KAÇ tesisleri için oldukça düşük seviyelerde yer aldığı, nutrient giderim tesisleri içinse UAHÇ ve KAÇ tesisleri arasında bir yüzdede yer aldığı görülmektedir.



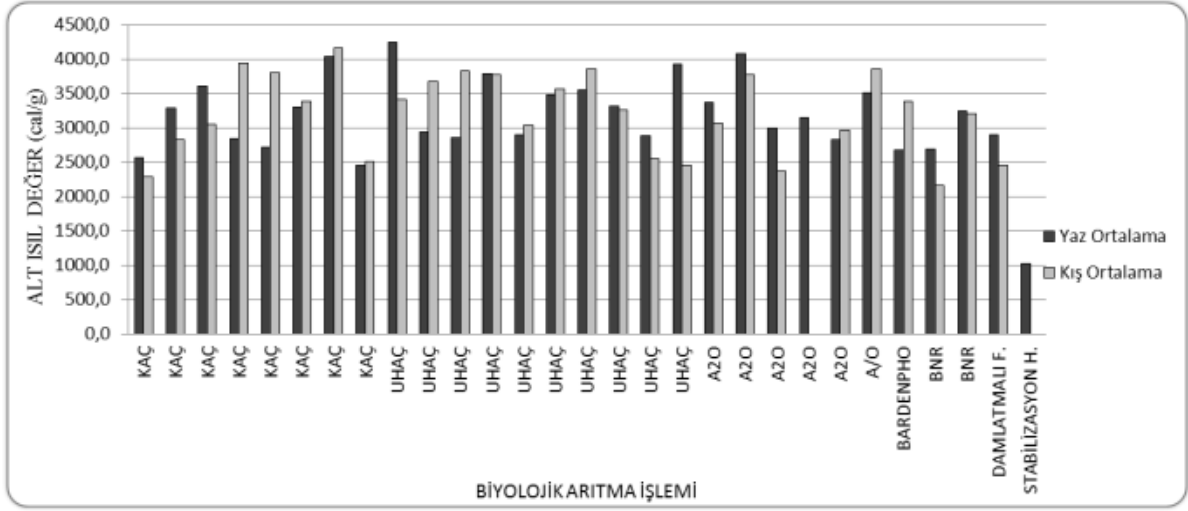
Şekil 11.14: Tesislerden Alınan Çamur Örneklerinin Karbon İçeriğinin Uygulanan Biyolojik Arıtma Sürecine Göre Değişimi



Şekil 11.15: Tesislerden Alınan Çamur Örneklerinin Azot İçeriğinin Uygulanan Biyolojik Arıtma Sürecine Göre Değişimi

Çamur Örneklerinin Isıl Değer Analizi

Şekil 11.15’de verilen ısıl değer parametresini tesislerden alınan örneklerin biyolojik arıtma işlemine göre değerlendirmesini yapan grafikte tesis süreçlerine göre çok büyük farklar gözlenmemekle beraber, UHAÇ tesisleri çamurlarının alt ısıl değerlerinin KAÇ tesislerine göre bir miktar daha yüksek, nutrient giderimi yapan tesislerin ısıl değerlerinin de KAÇ tesisleriyle aşağı yukarı aynı seviyede olduğu görülmektedir.

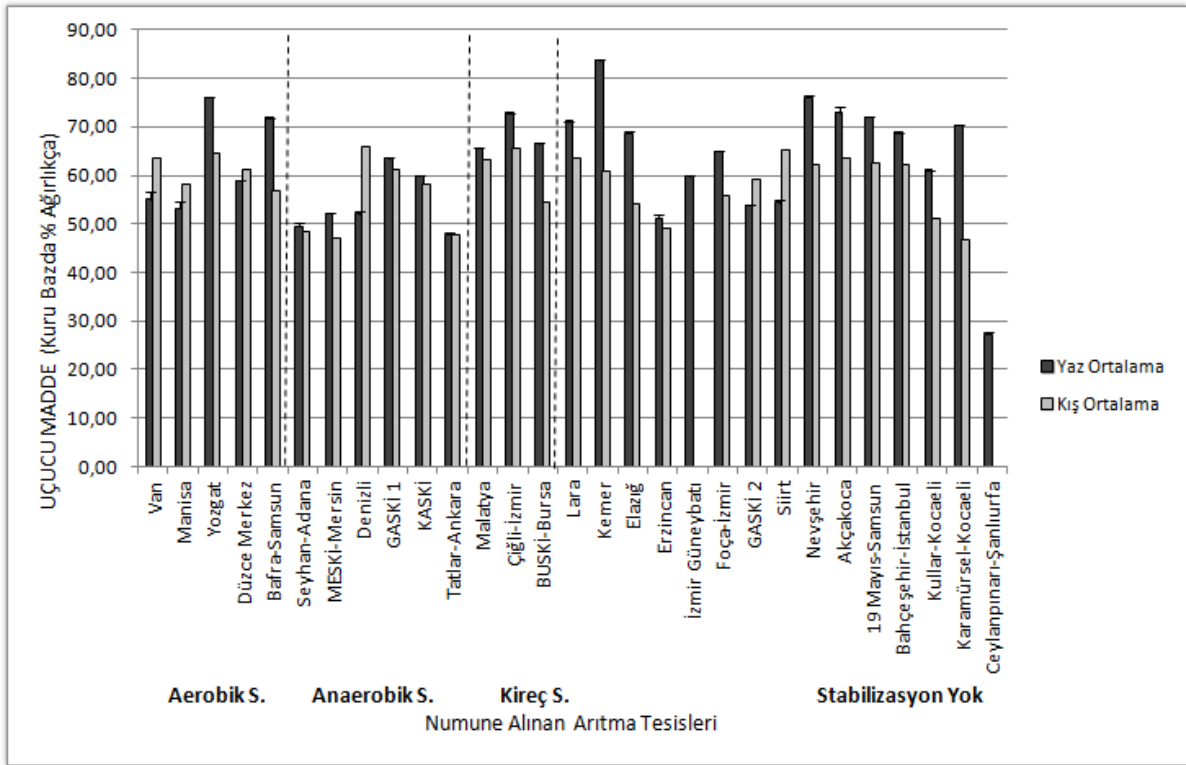


Şekil 11.16: Tesislerden Alınan Çamur Örneklerinin Alt Isıl Değerlerinin Uygulanan Biyolojik Arıtma Sürecine Göre Değişimi

11.1.1.4. Isıl Analizlerin Uygulanan Çamur Stabilizasyon Yöntemine Göre Değerlendirmesi

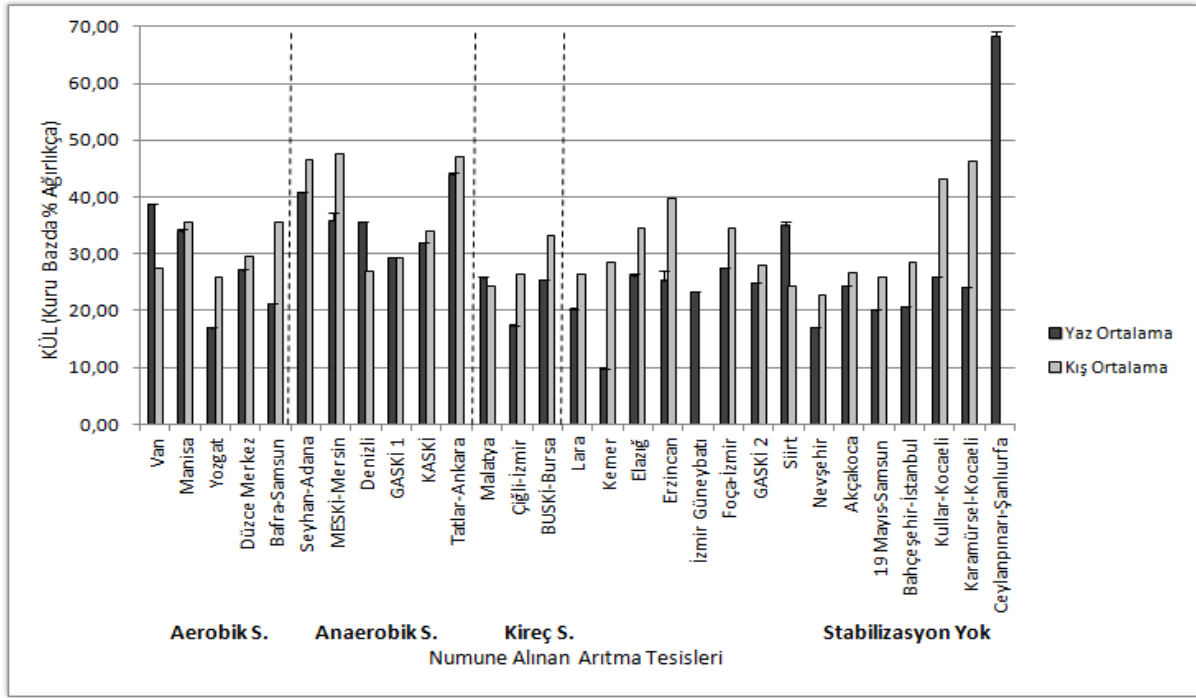
Çamur Örneklerinin Yaklaşık Analizi

Yukarıda da tartışıldığı gibi yaklaşık analizler nem, kül, uçucu madde ve sabit karbon parametrelerini içermektedir. Bu kısımda çamurun uçucu madde yüzdesi ve külü, çamurun yakılabilirliğini birebir etkilemekte olan parametreler olarak değerlendirilmiş ve grafiksel olarak çamur stabilizasyon süreçlerine göre değerlendirilmeye çalışılmıştır. Bu iki parametrenin tesislerde uygulanan çamur stabilizasyon süreçlerine göre değişimleri Şekil 11.16 (uçucu madde) ve Şekil 11.17’de (kül miktarı) verilmektedir.



Şekil 11.17: Tesislerden Alınan Çamur Örneklerinin Uçucu Madde İçeriğinin Uygulanan Çamur Stabilizasyon Sürecine Göre Değişimi

Şekil 11.16'daki verilerden çamurun stabilizasyon işlemine tabi tutulup tutulmadığı içeriğindeki uçucu madde konsantrasyonunu etkiler görünmektedir. Grafiğin sağ tarafında kalan ve stabilizasyon uygulamayan tesislerin çamurları diğer tesislere kıyasla daha yüksek uçucu madde içerir görünmektedir. Grafiğin endüyük değerler gösteren bölgesi anaerobik stabilizasyonun yapıldığı tesislerin çamurlarının yer aldığı bölgedir. Anaerobik stabilizasyonun uygulandığı tesislerin çamurlarının birbirleri ile tutarlı bir biçimde %50 ve %60 arasında uçucu madde değerleri göstermişlerdir. Aerobik stabilizasyon uygulayan tesislerin çamurları ise hep %50 'nin üzerinde yer almışlar, ara ara %60; hatta iki tesis için de yaz örneklerinde %70 değerini aşmışlardır. Kireçle stabilizasyon uygulayan tesisler de aerobik stabilizasyon tesisi çamurlarına benzer seviyede yer almışlardır. Sonuçlar, örnek alınan tesislerden anaerobik stabilizasyon işletenlerin çamurlarının organik maddece daha stabil seviyelere ulaştığını göstermiştir.

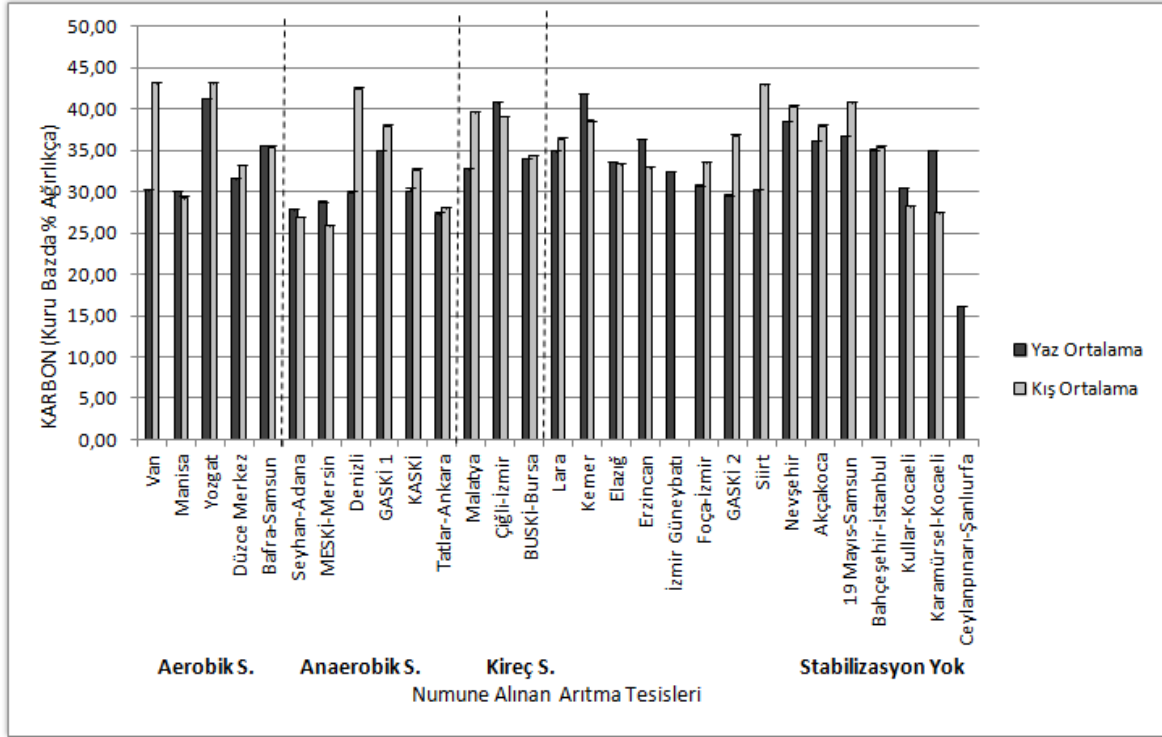


Şekil 11.18. Tesislerden Alınan Çamur Örneklerinin Kül İçeriğinin Uygulanan Çamur Stabilizasyon Sürecine Göre Değişimi

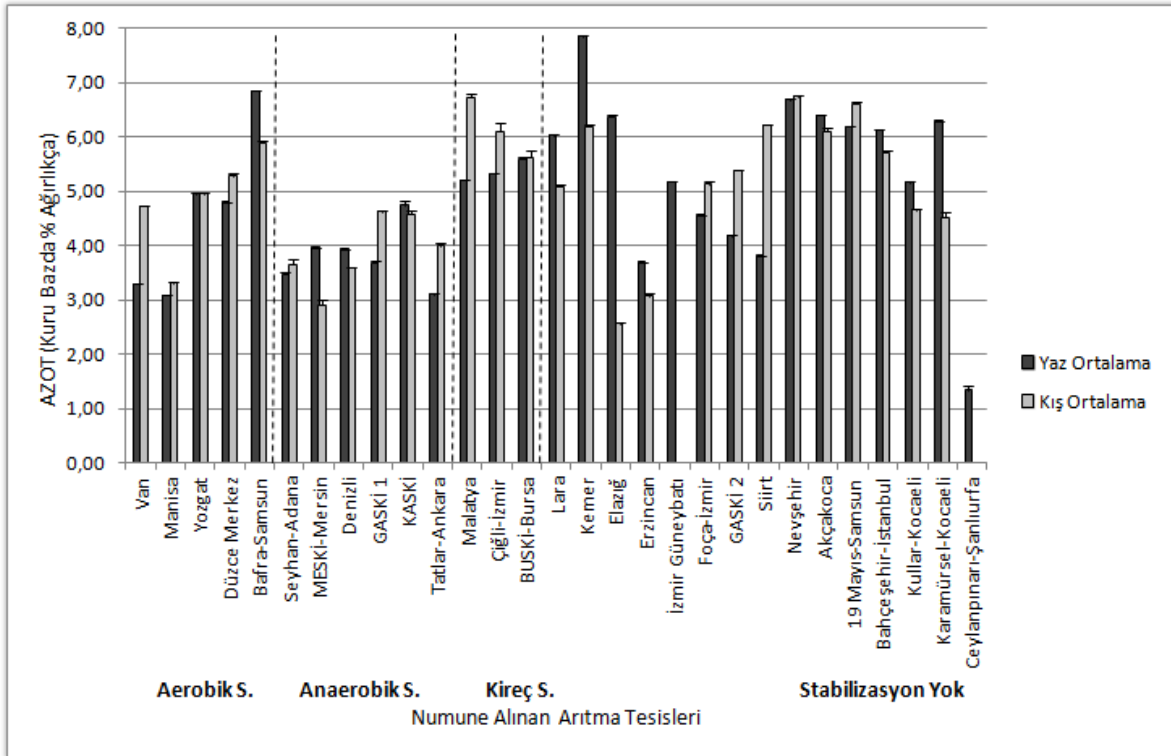
Şekil 11.18 stabilizasyon uygulamayan ve kireçle stabilizasyon uygulayan tesislerin kül miktarının diğer tesislere görece düşük olduğunu göstermektedir. Anaerobik çürütme uygulayan tesisler aerobik çürütme uygulayanlara kıyasla daha yüksek kül seviyesinde kalmışlardır. Şekil 11.16'dan görüldüğü gibi grafiğin en sağında kalan, stabilizasyon havuzu işleten tek tesis olan Şanlıurfa tesisi, uçucu madde miktarı bakımından düşük, Şekil 11.17'ye göre ise kül miktarı bakımından yüksektir.

Çamur Örneklerinin Elemental Analizi

Tesislerden elde edilen çamur örneklerinde yapılan analizlerden karbon miktarı Şekil 11.18'de, azot miktarı ise Şekil 11.19'da görülmektedir. Alınan çamur örneklerinin karbon değerlerinin tesisten tesise önemli farklılıklar gösterebildiği görülmektedir. Biyolojik stabilizasyon işleminin olmadığı tesislerde karbon miktarının büyük oranda %35-40 arasında yer aldığı, bu değerlerin kireçle stabilizasyon yapan tesisler için de geçerli olduğu görülmüştür. Öte taraftan anaerobik stabilizasyon uygulayan tesislerin çamurları, Denizli ve GASKİ 1 tesisleri yaz örnekleri hariç, karbon miktarları % 35 ve bu değer oldukça altında seyretmiştir. Aerobik stabilizasyonda ise temelde Yozgat tesisinin her iki örneği ve Van tesisinin kış örneği %40'ın üzerinde yer aldığı için bu sistem daha az karbon gidermiş izlenimi yaratmaktadır. Çamurların karbon içerikleri uçucu madde içeriklerine paralel bir yapı sergilemiştir.



Şekil 11.19: Tesislerden Alınan Çamur Örneklerinin Karbon İçeriğinin Uygulanan Çamur Stabilizasyon Sürecine Göre Değişimi

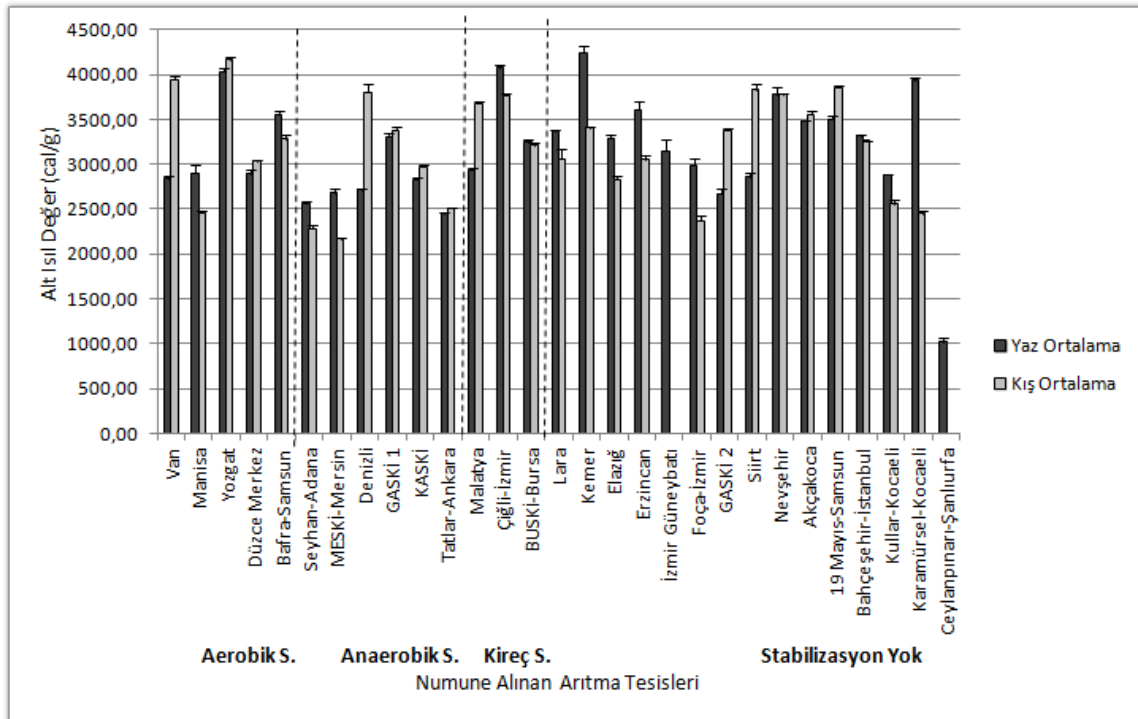


Şekil 11.20: Tesislerden Alınan Çamur Örneklerinin Azot İçeriğinin Uygulanan Çamur Stabilizasyon Sürecine Göre Değişimi

Örneklenen çamurlardaki azot miktarları incelendiği zaman ise anaerobik stabilizasyon işleten tesislerin çamurlarında azotun diğer tesislere kıyasla önemli ölçüde az olduğu görülmektedir. Bunu anaerobik koşullar altında çamurdaki nutrientlerin çözünür hale geçmesi ve sıvı faza salınması ile susuzlaştırma sırasında çamur kekinden ayrılması ile açıklamak mümkündür. Şekil 11.19'a göre anaerobik çürütülmüş çamuru aerobik çürütülmüş çamurlar takip etmektedir. En yüksek azot içerikleri ise stabilizasyona tabi tutulmamış çamurlar ve kireçle stabilize edilmiş çamurlarda görülmüştür.

Çamur Örneklerinin Isıl Değer Analizi

Şekil 11.20'de verilen ısıl değer analizi sonuçlarının çamur stabilizasyon işlemine göre değişimi ise çamurun yakılarak bertarafı bakımından önemli bilgiler vermektedir. Bu şekle göre en düşük ısıl değere sahip çamurlar anaerobik çürütücülerden çıkan çamurlar olarak dikkat çekmektedir. Bu bulgu yukarıda tartışılan uçucu madde ve karbon yüzdesi bulgularıyla da örtüşmektedir. Hem aerobik çürütücülerden hem de kireç stabilizasyon işlemlerinden alınan çamur örneklerinin ise daha yüksek ısıl değerlere sahip oldukları görülmektedir. Stabilizasyonu olmayan tesislerden alınan çamur örnekleri ise biyolojik atıksu arıtma işleminin etkinliğine bağlı olarak düşük ya da yüksek seviyelerde ısıl değerler göstermişlerdir.

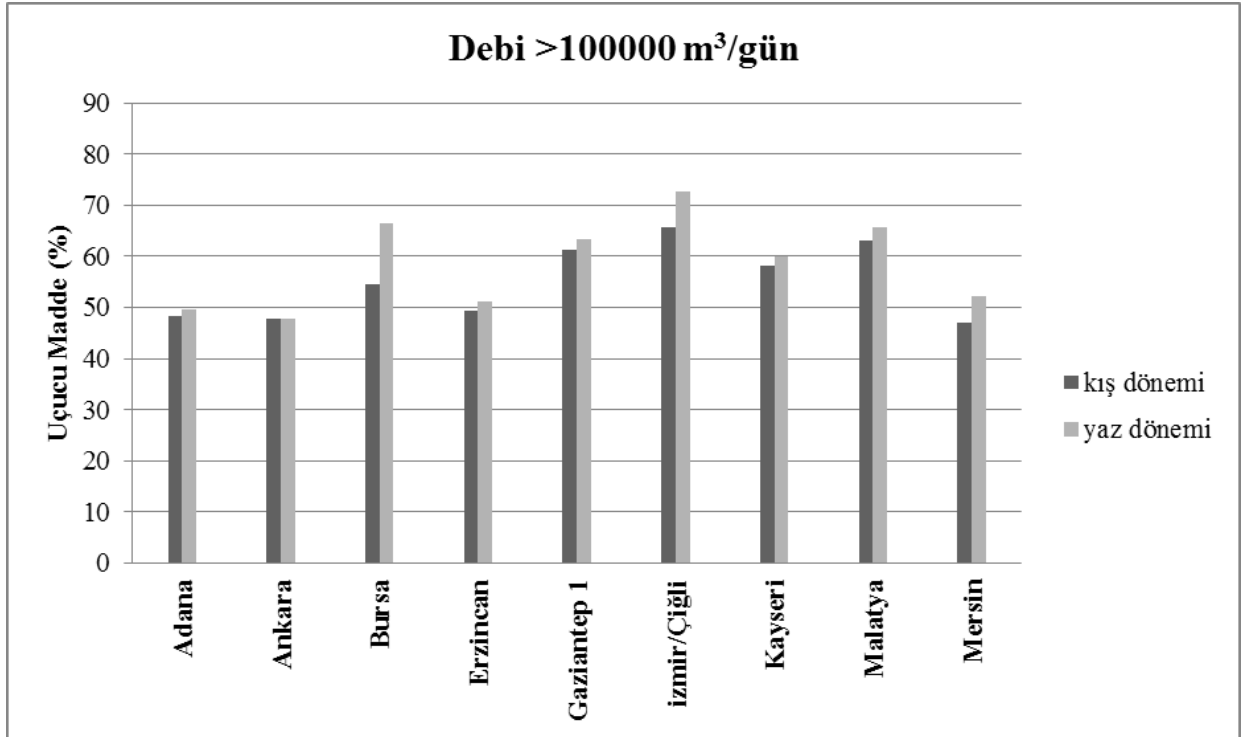


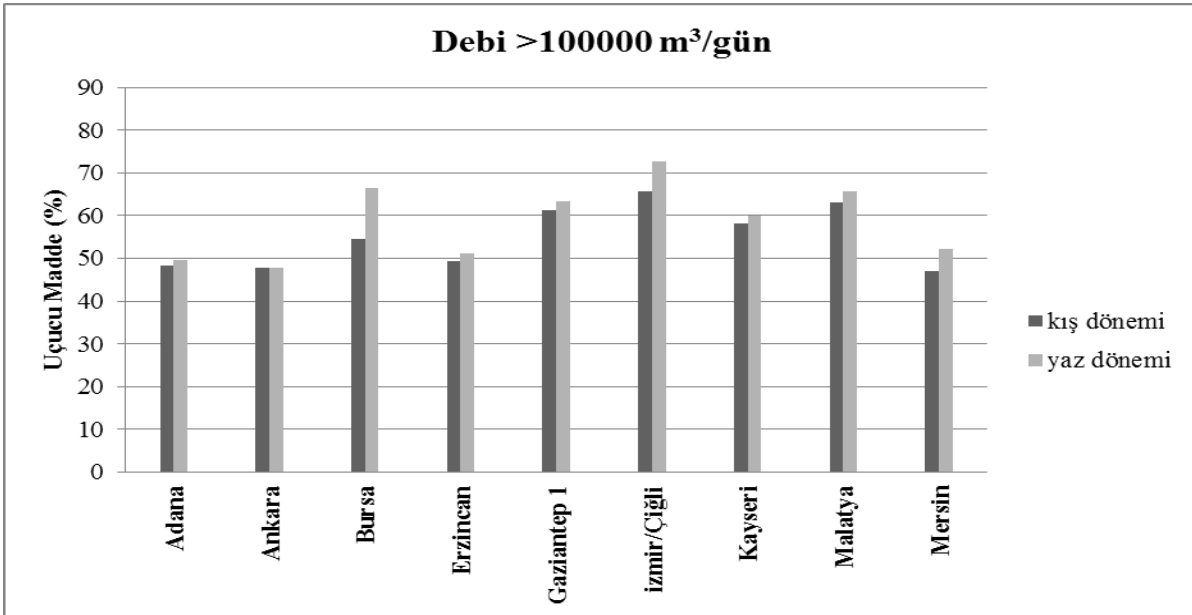
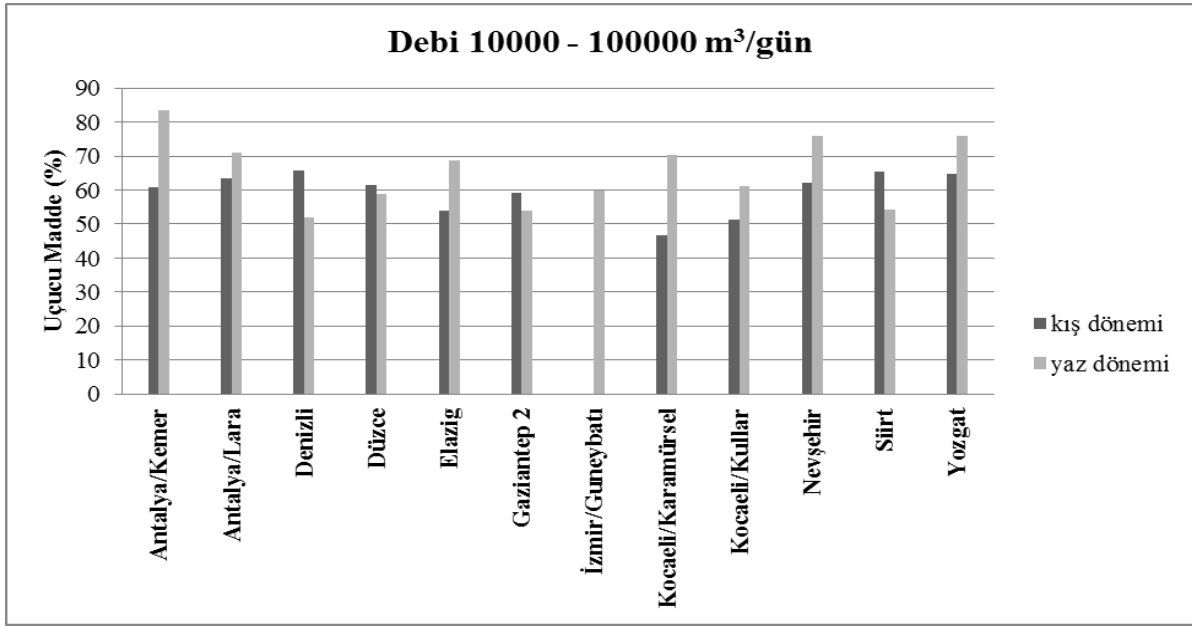
Şekil 11.21: Tesislerden Alınan Çamur Örneklerinin Alt Isıl Değerlerinin Uygulanan Çamur Stabilizasyon Sürecine Göre Değişimi

11.1.1.5. Isıl Analizlerin Atıksu Arıtma Tesislerinin Arıtma Kapasitelerine Göre Değerlendirmesi

Çamur Örneklerinin Yaklaşık Analizi

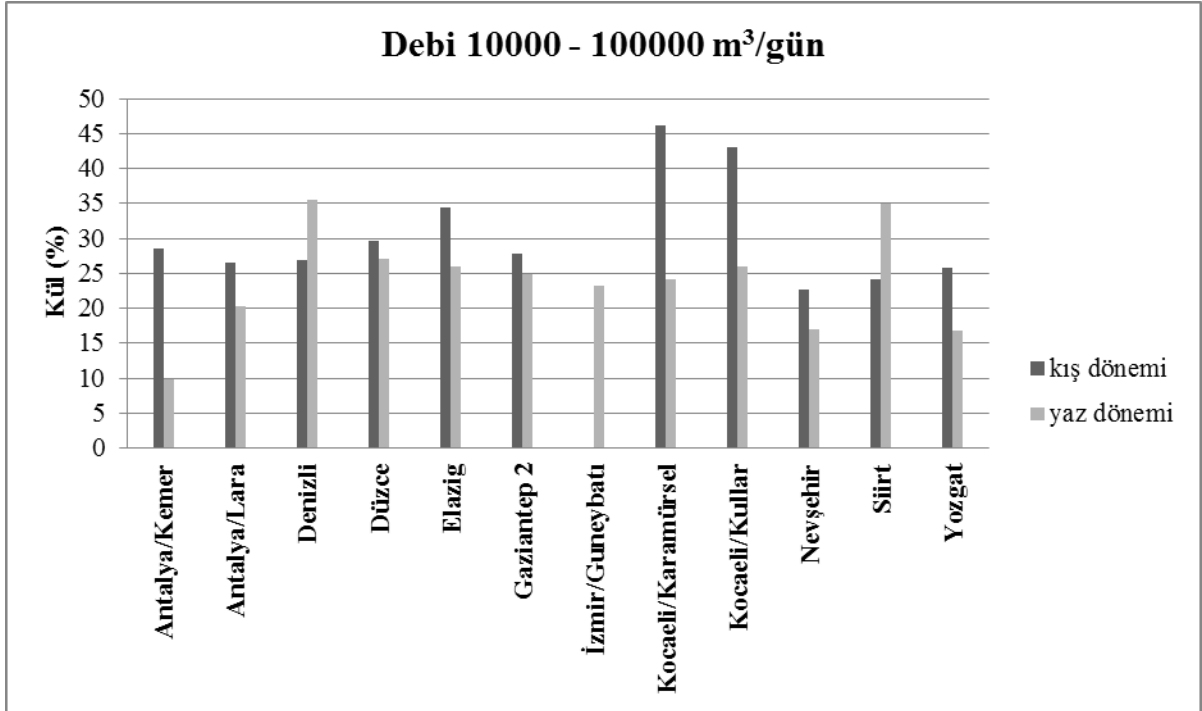
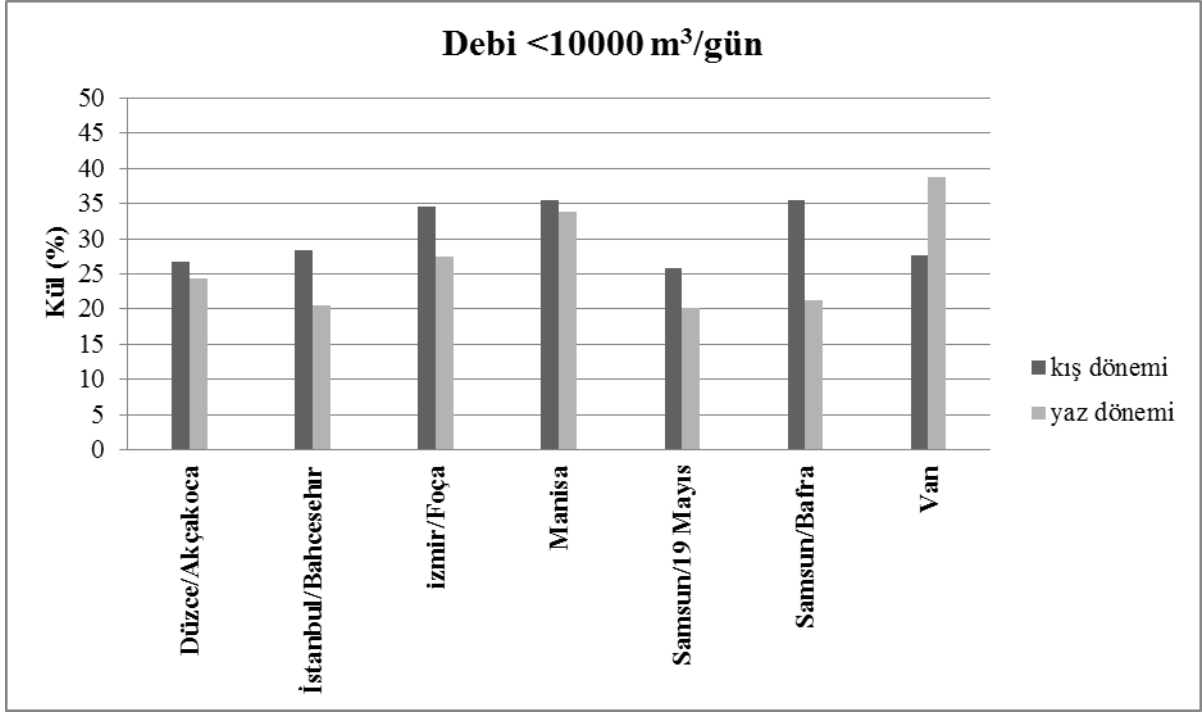
Çamur örneklerinin yaklaşık analizi ile arıtılan atıksuyun miktarına göre analizi, arıtma çamurlarının uçucu madde ve kül miktarı kullanılarak yapılmıştır. Uçucu maddenin arıtma kapasitesi fazla olan tesislerde daha düşük olduğu gözlenmiştir. Küçük ölçekli tesislerde uçucu maddenin daha yüksek olmasında uçucu madde arıtma seviyesinin daha düşük olması etkili olabilir.

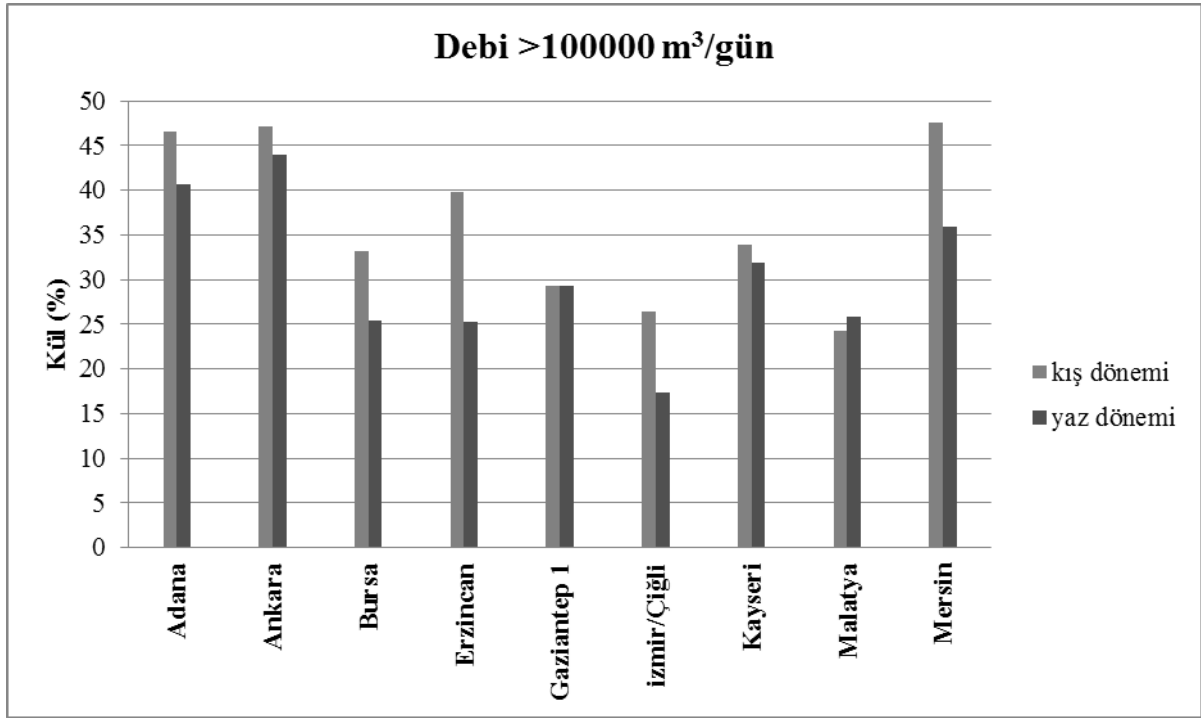




Şekil 11.22: Tesislerden Alınan Çamur Örneklerinin Uçucu Madde Oranının Arıtılan Atıksu Debisine Göre Değişimi

Atıksu arıtma tesislerinde ulaşılan uçucu madde oksitleme düzeyi oluşan çamurun içeriğindeki kül miktarını etkilemektedir. Büyük tesislerde (Şekil 11.21) genel olarak daha yüksek oranda uçucu madde oksitlenmesi gerçekleşmektedir. Böylece oluşan arıtma çamurunda daha az uçucu madde ve buna bağlı olarak daha yüksek oranlarda kül (Şekil 11.22) bulunmaktadır. Ancak her üç grafikte de benzer kül oranlarına rastlanabilmektedir. Bu yüzden arıtma çamurunun yaklaşık analizinde elde edilen parametrelerin yalnızca arıtma tesisinin büyüklüğü ile açıklamak doğru olmayacaktır.

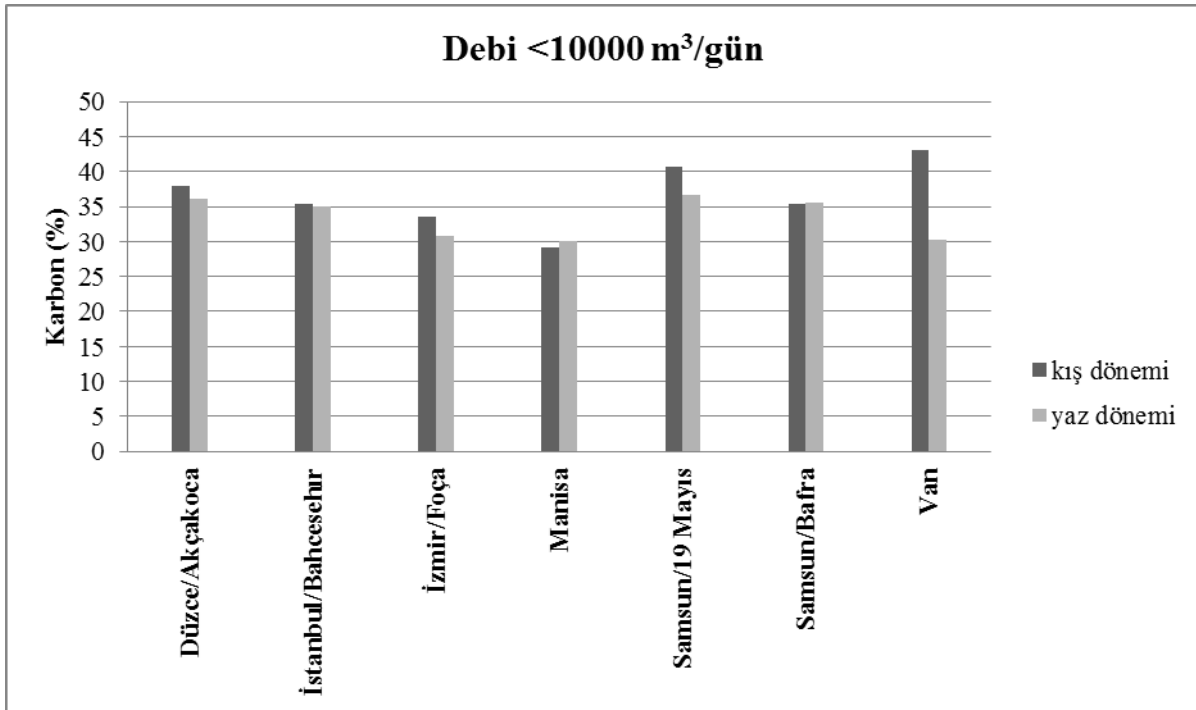


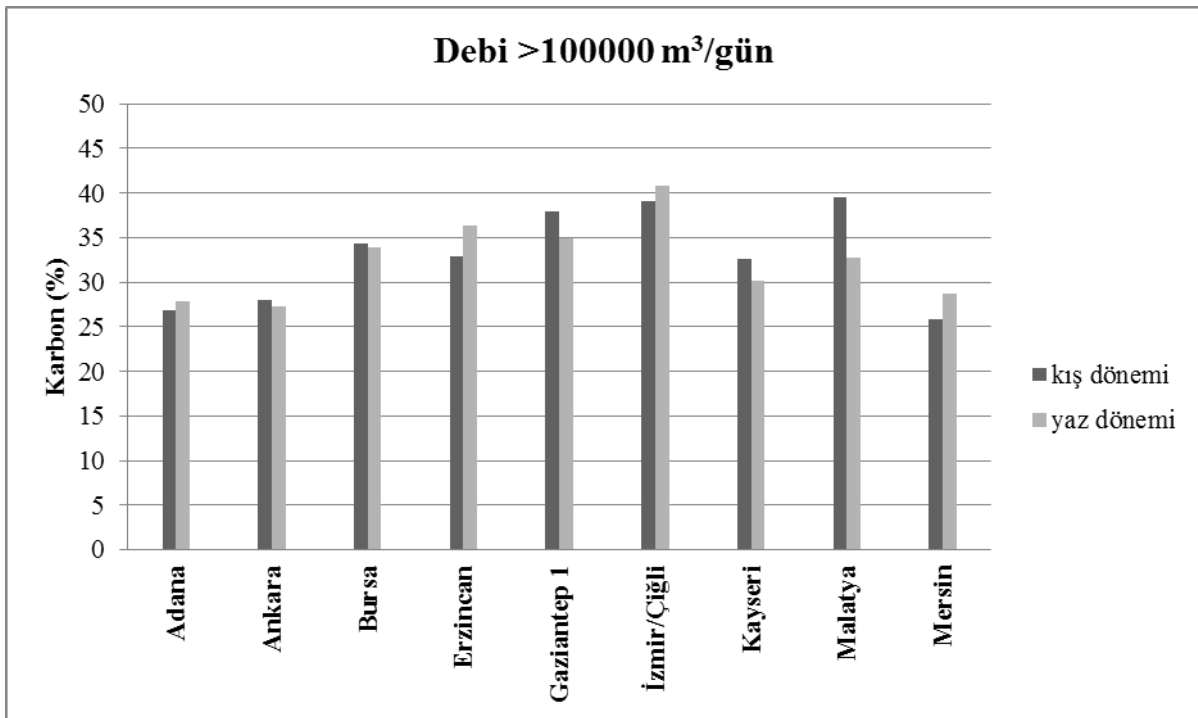
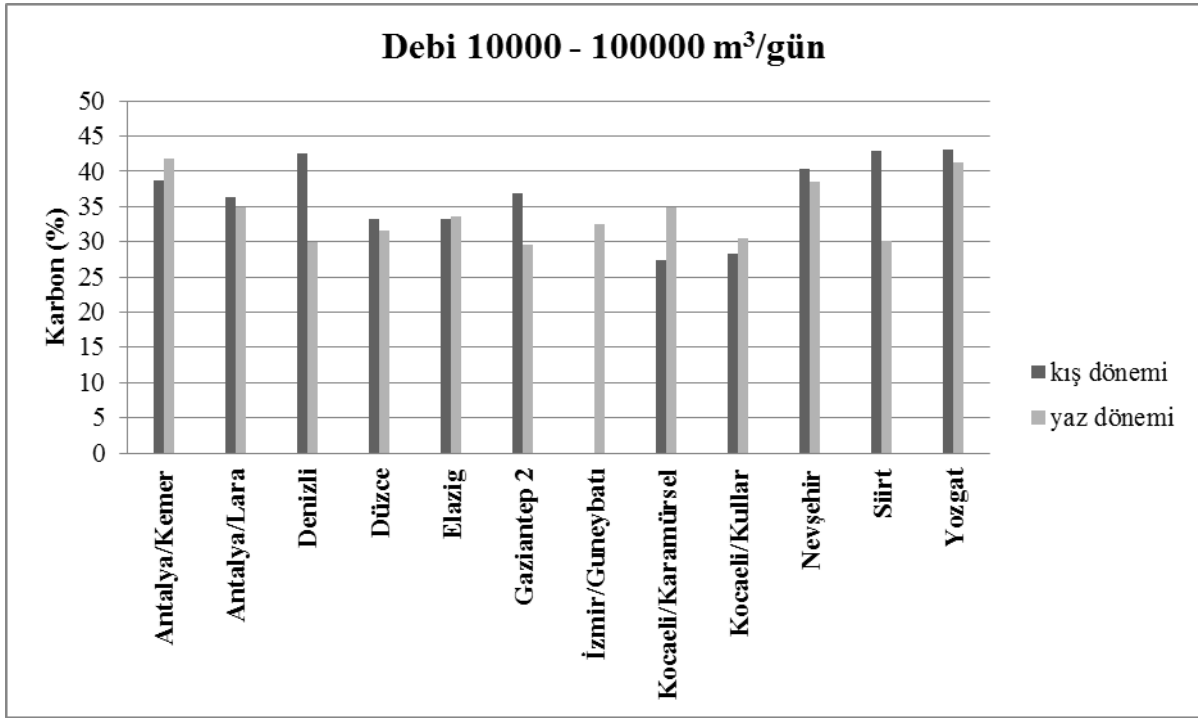


Şekil 11.23. Tesislerden Alınan Çamur Örneklerinin Kül Oranının Arıtılan Atıksu Debisine Göre Değişimi

Çamur Örneklerinin Elemental Analizi

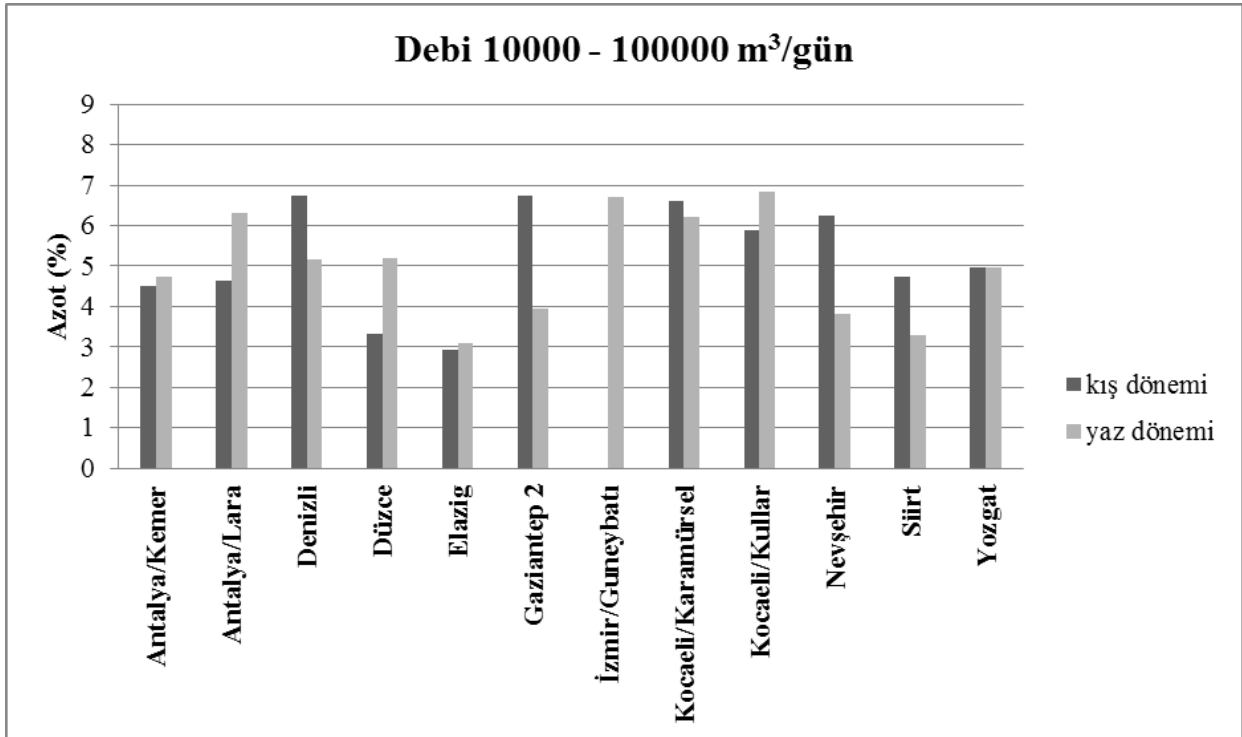
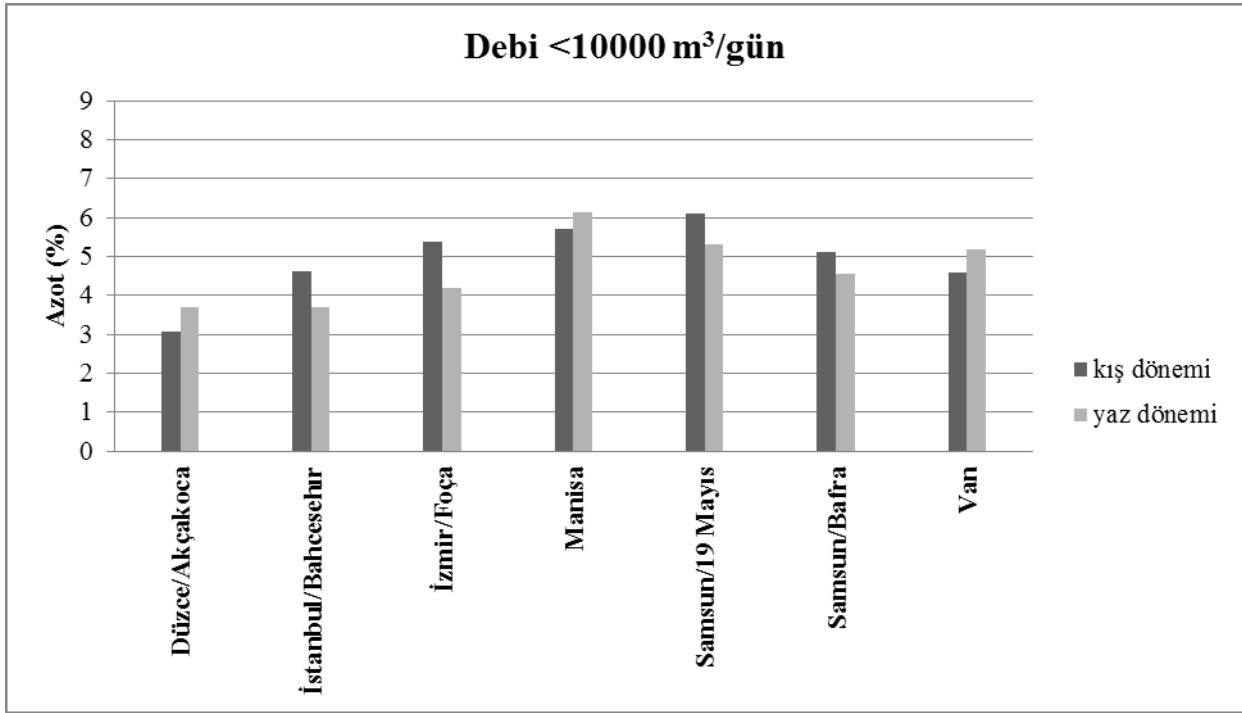
Arıtma çamurlarının elemental analizi ile çamurun içeriğindeki karbon, azot ve kükürt gibi önemli parametreleri belirlemek mümkün olmuştur. Yapılan analizlerin arıtma tesislerinin kapasitelerine göre değerlendirilmesi Şekil 11.23, Şekil 11.24 ve Şekil 11.25’de sunulmaktadır.

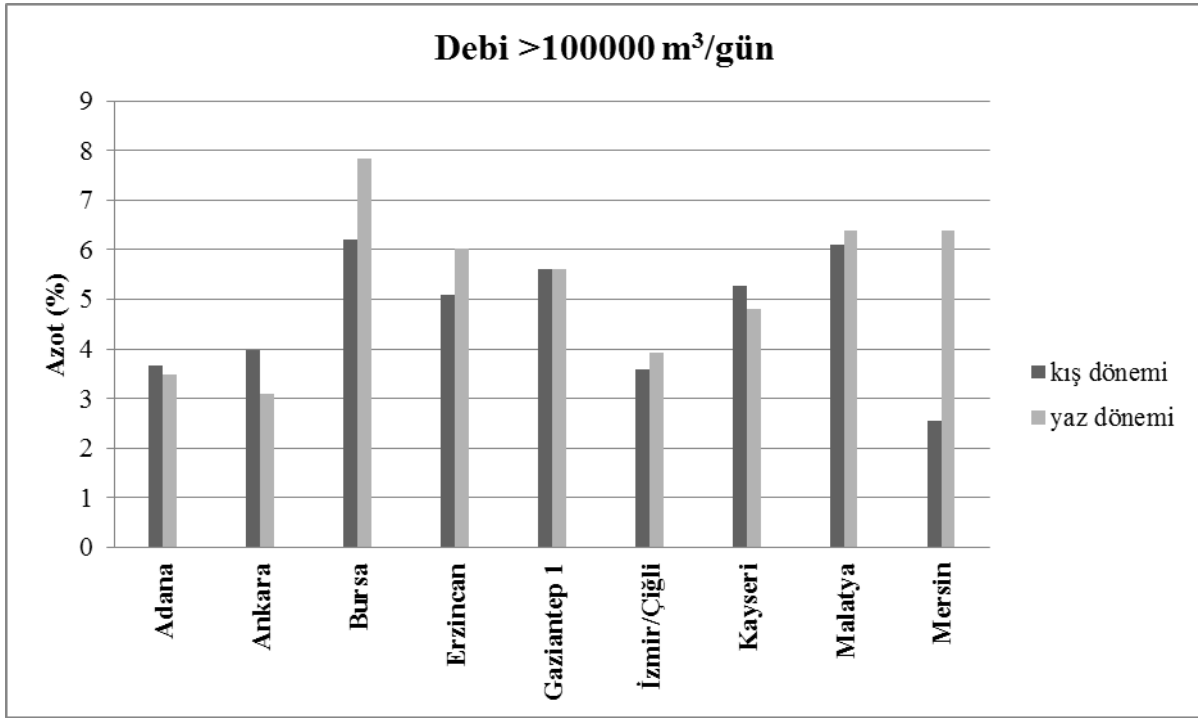




Şekil 11.24: Tesislerden Alınan Çamur Örneklerinin Karbon Oranının Arıtılan Atıksu Debisine Göre Değişimi

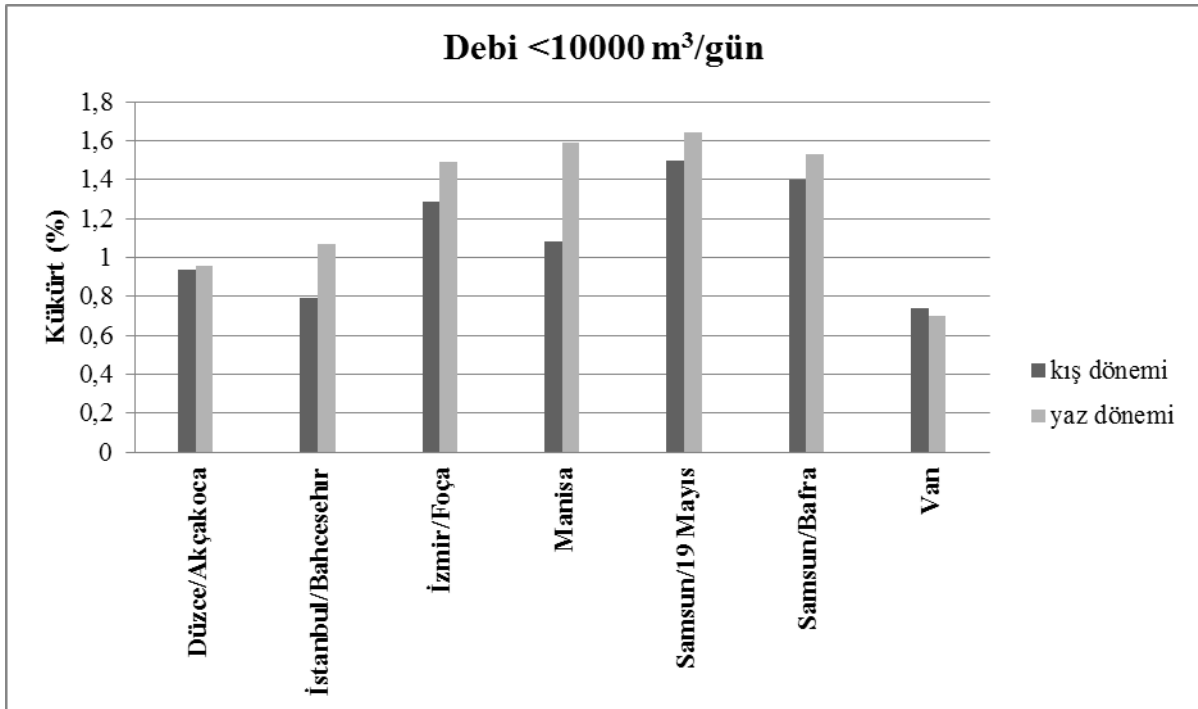
Arıtma çamurlarının içerdiği karbon miktarının değişkenlik göstermekle birlikte büyük tesislerde çok, küçük tesislerde ise az olduğu görülmektedir. Özellikle günlük arıtılan suyun 100000 m³'den büyük olduğu tesislerde bu fark daha açıktır. Orta ölçekli ve küçük ölçekli tesislerin karbon oranları ise birbirine benzerdir.

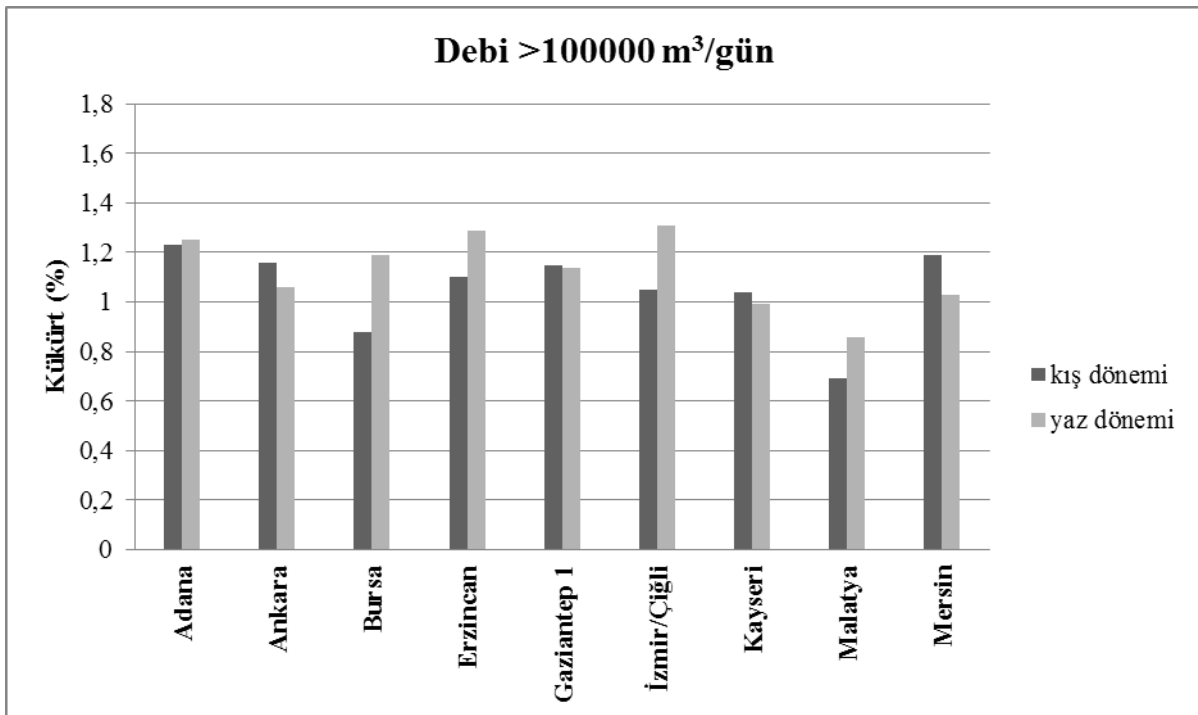
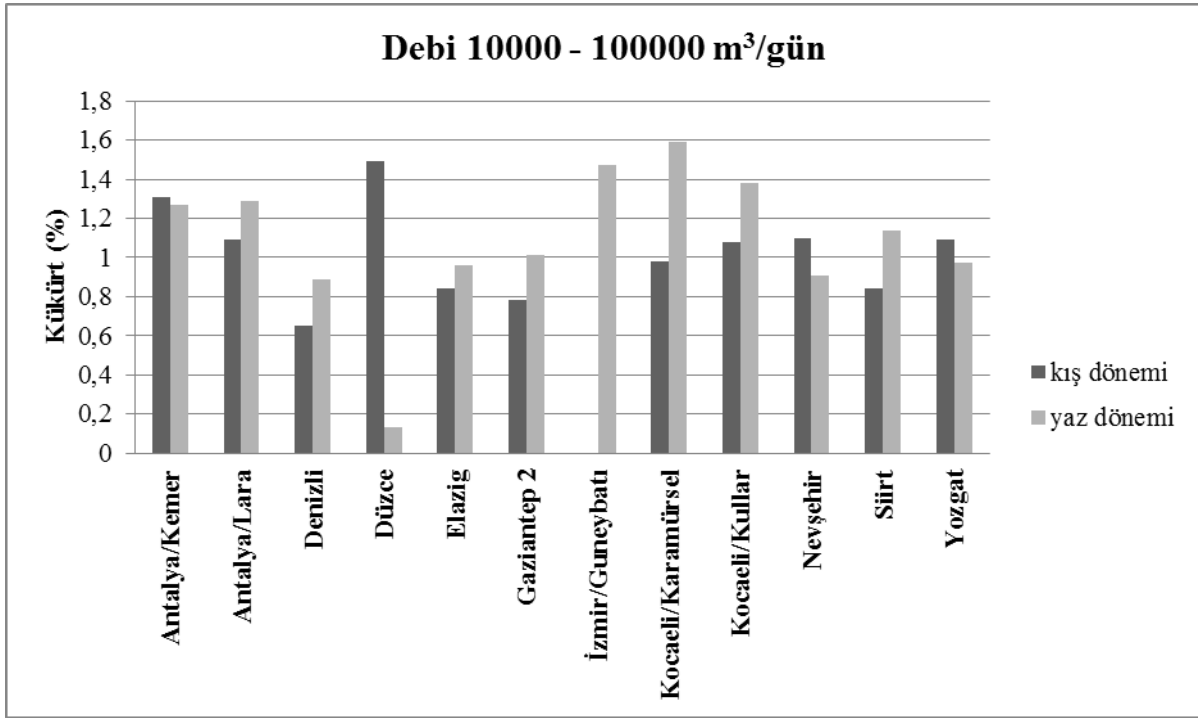




Şekil 11.25: Tesislerden Alınan Çamur Örneklerinin Azot Oranının Arıtılan Atıksu Debisine Göre Değişimi

Arıtma çamurlarının içeriğindeki azot oranları, karbondakine benzer bir değişim izlemektedir. Küçük ve orta ölçekli tesislerden elde edilen arıtma çamurlarında azot oranları birbirine benzerdir. Ancak büyük ölçekli tesislerin çamurlarında azot oranları daha düşüktür.

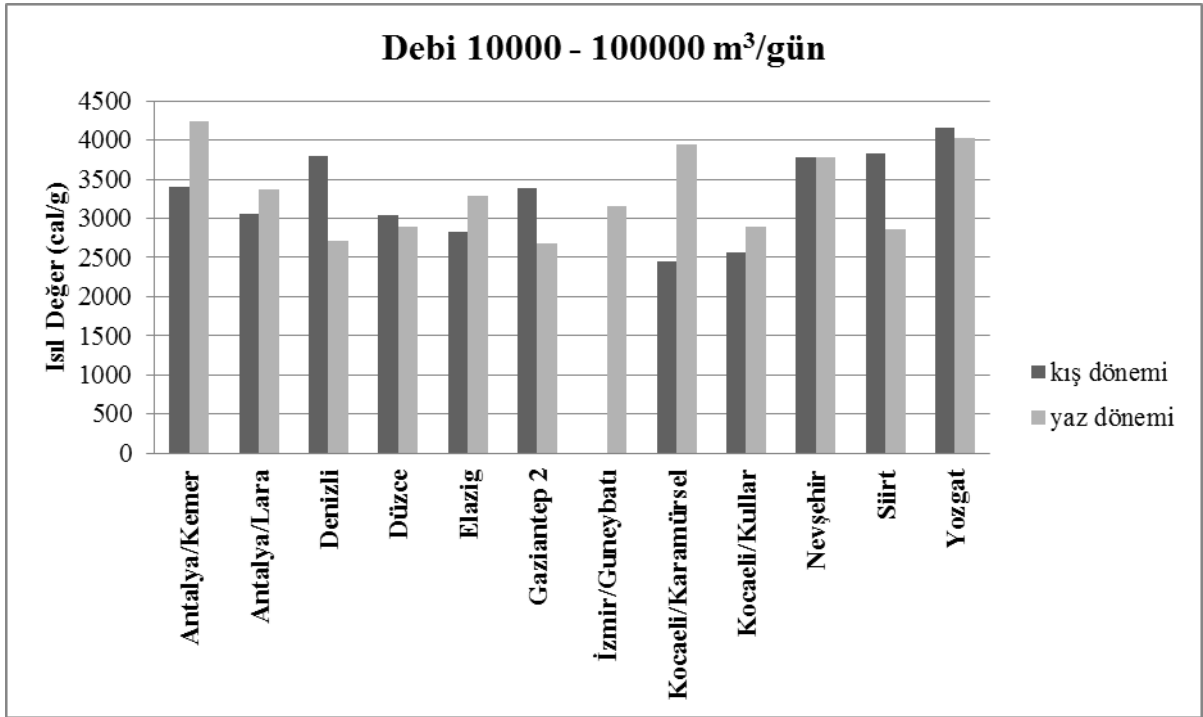
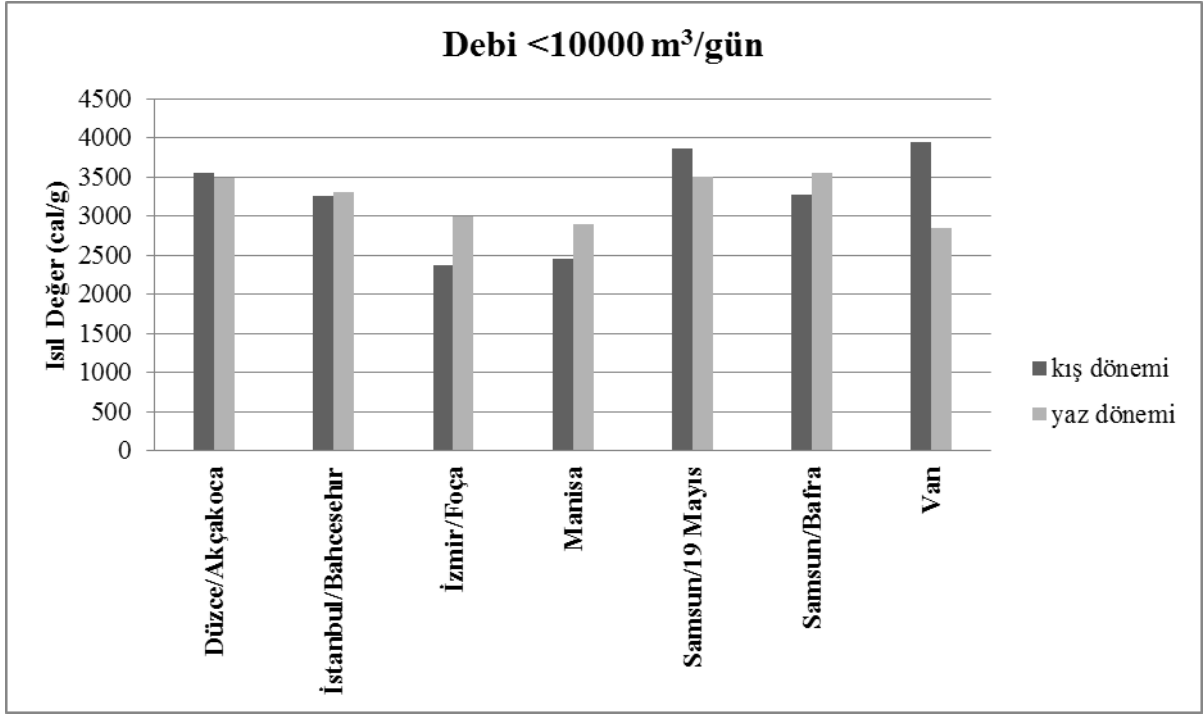


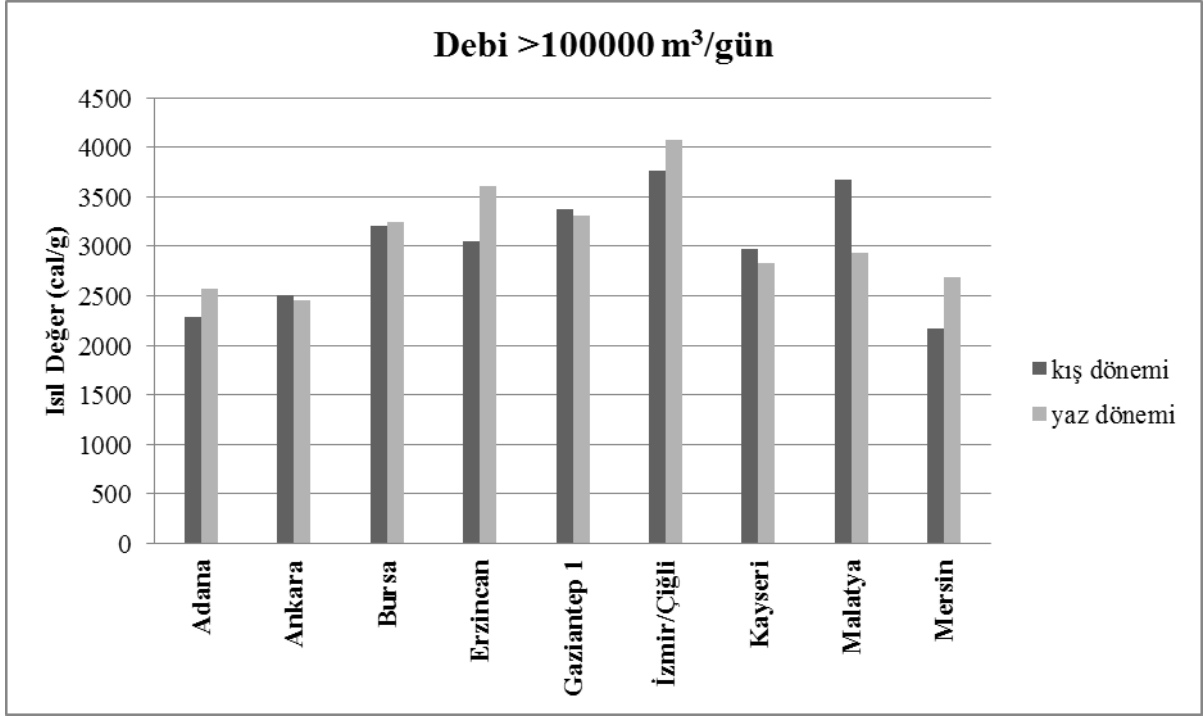


Şekil 11.26: Tesislerden Alınan Çamur Örneklerinin Kükürt Oranının Arıtılan Atıksu Debisine Göre Değişimi

Elemental analiz sonuçlarının değerlendirilmesinde kullanılan genel yargı kükürt için geçerlidir (Şekil 11.25). Büyük tesislerde kükürt oranı, küçük ve orta ölçekli tesislere göre daha düşük çıkmıştır. Büyük tesislerin genel olarak daha fazla çamur oluşturduğu göz önünde bulundurulduğunda ortaya çıkan sonuçlar arıtma çamurlarının ek yakıt olarak kullanılması konusunda olumlu yargılara ulaşmanın önünü açacaktır.

Çamur Örneklerinin Isıl Değer Analizi





Şekil 11.27: Tesislerden Alınan Çamur Örneklerinin Isıl Değerinin Arıtılan Atıksu Debisine Göre Değişimi

Yapılan değerlendirmeler, atıksu arıtma tesislerinin büyüklüğünün arıtma çamurlarının ısıl özellikleri üzerinde bir etkisinin olduğunu göstermiştir. Özellikle elemental analiz ve kalorifik değer parametreleri arıtma tesisi büyüklüğü ile doğrudan ilişkilidir. Kalorifik değeri yüksek olan arıtma çamurları genelde daha düşük kapasiteli arıtma tesislerinden alınan çamurlarda elde edilmiş, yüksek kapasiteli arıtma tesislerinden alınan arıtma çamurlarında daha düşük ısıl değer gözlenmiştir.

Sonuç olarak tesis büyüklüğünün, yani oluşan arıtma çamuru miktarının arıtma çamurlarında ısıl değer, azot ve kükürt parametrelerinde bazı etkiler gösterdiği belirlenmiştir. Arıtma tesisi büyüdükçe çamurun içeriğindeki azot, kükürt oranı ve ısıl değeri azalmaktadır.

11.1.2. LABORATUVAR ÖLÇEKLİ YAKMA DENEMELERİ

Proje önerisinde yer alan arıtma çamurlarının laboratuvar ölçekli bir yakma reaktöründe birkaç farklı yakıt eşliğinde yakılması ve optimum çamur/yakıt oranının belirlenmesine yönelik çalışmalar da bu dönemde gerçekleştirilmiştir. Aşağıda bu çalışmalar özetlenmektedir.

11.1.2.1.Laboratuvar Ölçekli Yakma Denemeleri İçin Kurulan Deney Düzeneği

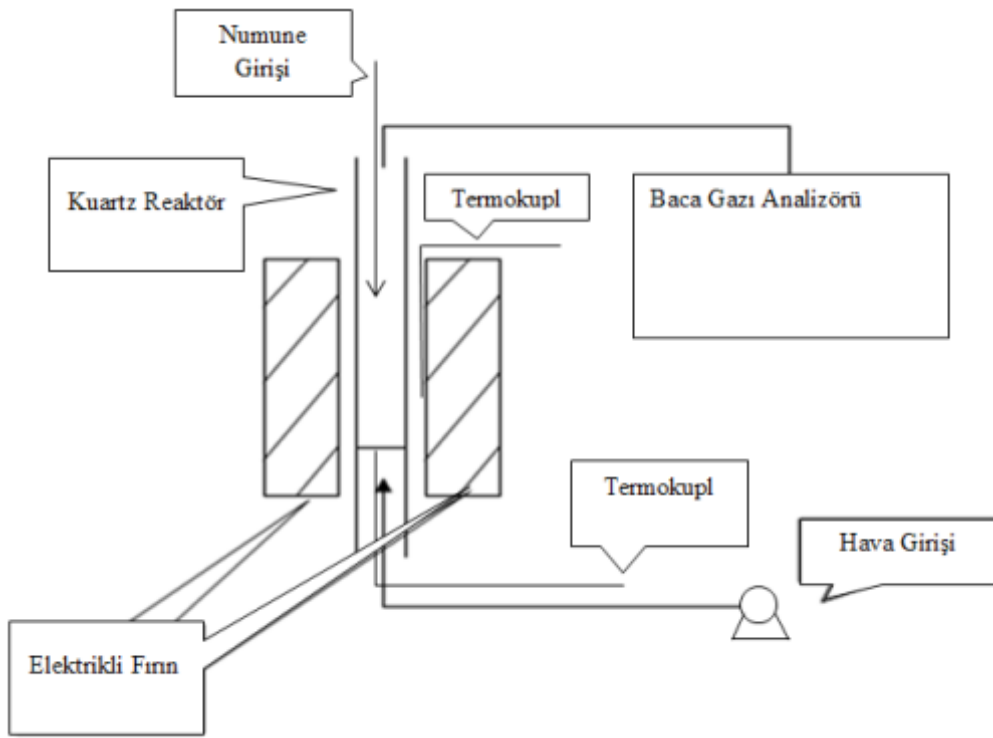
İş paketi 11 kapsamında ODTÜ grubu tarafından yapılmış olan laboratuvar ölçekli yakma denemeleri için gerekli deney düzeneği; bir adet kuru hava tüpü, tüpteki yüksek basıncı istenilen seviyeye kontrollü bir biçimde düşürecek regülatör, tüpten alınan havanın akış hızını ölçmek için bir adet rotametre, ODTÜ Hava Kirliliği Laboratuvarında mevcut olan bir adet tüp fırın, yanmanın gerçekleşeceği kuartz reaktör, yanma bölgesindeki sıcaklığı ölçmeye yarayan bir adet termokupl (Ni-Cr-Ni) ve oluşan yanma gazlarını ölçmek için kullanılan bir adet baca gazı ölçüm cihazından oluşmaktadır. Şekil 11.27, yakma denemelerinde kullanılan düzeneğin bir fotoğrafını göstermektedir.



Şekil 11.28: Yakma Denemeleri için Hazırlanan Reaktör Düzeneği

Kurulan düzenekte kuru hava tüpü içerisinde yüksek basınç altında muhafaza edilen hava, regülatör yardımıyla düşürülmektedir. Akış debisi rotametre yardımıyla düzenlenen hava, fırının ısıttığı kuartz reaktörün içerisine alt kısımdan girmektedir. Dikey bir silindir şeklinde olan reaktörde, alttan giren hava reaktör boyunca yükselir. Fırının verdiği ısı, bu cihazın sahip olduğu bir kontrol kutusu yardımıyla ayarlanır. Bu kontrol mekanizması, fırının içerdiği bir adet termokupla bağlıdır, bu yüzden fırın istenilen sıcaklığa yüksek bir hassasiyet derecesinde ayarlanabilmektedir. Kuartz reaktörün silindir yapısının orta kısmında küçük bir girinti

bulunmaktadır. Bu girinti üzerine seramik yünü yerleştirilerek yanacak malzemenin reaktör içerisinde sabit bir konumda bulunması, aynı zamanda alttan giren havanın da malzeme ile kolayca buluşması sağlanmıştır. Kullanılan reaktörün boyu, fırının boyundan daha yüksektir. Reaktörün boyutunun bu şekilde tasarlanmasının yapılan değerlendirmeler sonucu gerekli olduğu ortaya çıkmıştır. Reaktörün üst kısmında kalan bu bölge ile fırının içerisinde kalan bölge arasındaki ısı farkının yüksek olmaması için açıkta kalan kısım seramik yünü ile sarılmış ve ısı yalıtımı sağlanmıştır. Reaktörün en tepesinde yer alan bir adet kapak, oluşan yanma gazlarının baca gazı ölçüm cihazının gaz alma probuna girmesini ve numunelerin reaktörün yanma bölgesine kolayca konulmasını sağlayacak biçimde yapılmıştır.



Şekil 11.29: Deney Düzenekinin Şematik Diyagramı

Kurulan düzenekte deneyler şu sırayla gerçekleşmektedir; yanma bölgesi yakınında ve fırın yüzeyine yakın bir konumda bulunan iki termokupl vasıtasıyla istenilen sıcaklığa ayarlanan reaktörün üst kısmındaki kapaktan bırakılan malzeme, reaktörün içindeki yanma noktasına düşer ve alt kısımdan gelen hava ile birleşerek yanar. Malzemenin atılmasını takiben kapatılan kapak kısmına bağlı olan baca gazı analiz cihazının probu, yanma sırasında oluşan gazları çeker ve cihaza gönderir. Cihaz bu gazları analiz eder ve karbon dioksit, karbon monoksit, azot dioksit, azot monoksit, kükürt dioksit ve oksijen konsantrasyonlarını kaydeder.

Baca Gazı Analiz Cihazı

Kullanılan baca gazı analiz cihazı Madur Electronics şirketi yapımı Photon modele sahip bir cihazdır. Cihaz: 1) Numune alma probu, 2) Gaz ısıtma hattı, 3) PGD-100 adlı gaz şartlandırma ünitesi ve 4) Photon adlı infrared sensörlerin bulunduğu ve gaz konsantrasyonlarının ölçümünün yapıldığı ünite olmak üzere 4 kısımdan oluşmaktadır.



Şekil 11.30: PDG-100 Gaz Şartlandırma Ünitesi



Şekil 11.31: Photon Gaz Analiz Ünitesi

Analiz edilecek gaz örneği, cihazın numune alma probu yardımı ile cihazın üst kısmında bulunan numune alma portunda 1 L/dk hızla çekilmektedir. Çekilen gaz örneği bir ısıtmalı hat ile gaz şartlandırma ünitesine ulaşmaktadır. Isıtmalı hattın özelliği, çekilen gaz numunesi sıcaklığını 154°C’de tutmaktır. Bu sıcaklıkta numunenin içindeki nemin yoğunlaşması önlenmektedir. Nem yoğunlaşmadığı için gaz numunesi kompozisyonunda, reaksiyonlar nedeniyle oluşabilecek değişimlerin de önüne geçilmektedir.

Isıtmalı hattan geçen gaz, PGD-100 adlı gaz şartlama ünitesine girmektedir. Burada gazın içerisindeki nem ve varsa katı haldeki parçacıklar filtrelerde tutulmaktadır. Nem tutulduktan sonra gazın sıcaklığı 4°C’ye kadar düşmektedir.

Sıcaklığı düşen ve nemi tutulan gaz örneği cihazın NDIR infrared sensörlerinin bulunduğu ana bölüme girmekte, burada oksijen, karbon dioksit, karbon monoksit, kükürt dioksit, azot monoksit ve azot dioksit parametreleri ölçülmektedir. Tablo 11.17’de Photon ünitesinin ölçebildiği gazların listesi, ölçüm aralıkları ve ölçüm duyarlılığı verilmiştir.

Tablo 11.17: Photon Gaz Analiz Cihazı Ölçüm Metodu ve Aralıkları

Parametre	Metod	Ölçüm Aralığı	Ölçüm Duyarlılığı	Algılama Limiti
Oksijen	Paramanyetik	% 0-20,95	% 0,01	% 0,01
Karbon Dioksit	NDIR	% 0-25	% 0,01	% 0,01
Karbon Monoksit	NDIR	0-5000 ppm	1 ppm	1 ppm
Kükürt Dioksit	NDIR	0-5000 ppm	1 ppm	1 ppm
Azot Monoksit	NDIR	0-1000 ppm	1 ppm	1 ppm
Azot Dioksit	NDIR	0-1000 ppm	1 ppm	1 ppm

11.1.2.2. Laboratuvar Ölçekli Yakma Denemelerinde Kullanılan Örneklerin Hazırlanması

Raporda yukarıda verilen ve detaylı tartışmaları yapılan çamurların yaklaşık ve elemental analiz sonuçlarına göre bütün atıksu arıtma tesislerini kapsayacak bir gruplama yapılmıştır. Bu gruplamada tesisler, arıtma çamuru numunelerinin ısı değerlerine göre yüksek ısı değer ve düşük ısı değerine sahip olmak üzere 2 ana gruba ayrılmıştır. Isı değeri yüksek olan tesisler ısı değerleri 3000 cal/g üzerinde olan tesisler (Samsun-19 Mayıs, Samsun-Bafra, Erzincan, Nevşehir, Kocaeli-Karamürsel, Yozgat, İzmir-Çiğli, Antalya-Kemer, vd.) olarak belirlenmiştir. Bu tesisler arasından İzmir-Çiğli tesisi, ürettiği çamur miktarının yüksek olması ve DEÜ grubunun bu tesisten alınacak numuneler ile tam ölçekli tesiste yapacağı denemelere ön bilgi sağlaması açısından laboratuvar ölçekli yakma denemeleri için seçilmiştir. Seçilen diğer tesis

ise ısı değeri düşük (<3000 cal/g) olan grup arasından belirlenmiştir. Bu grupta; Ankara, Adana, GASKİ-2, Mersin, vd. tesisler yer almaktadır. Ankara tesisi, ürettiği çamur miktarı bakımından öne çıkmıştır. Sonuç olarak, laboratuvar ölçekli yakma çalışmalarının öncelikle **İzmir-Çiğli** ve **Ankara** tesisi çamurları üzerinde yapılmasına karar verilmiştir. Bu tesislere ek olarak, Nuh Çimento fabrikasında ek yakıt olarak kullanılmakta olan “**Karma Arıtma Çamuru**” da çalışmaya dahil edilmiştir. Nuh Çimento Fabrikası, kurutulmuş arıtma çamurunu ek yakıt olarak kullanmaktadır. Bu çamur örneğinin yakma denemelerine dahil edilmesi ile, gerçek bir işletmede halihazırda kullanılan bir ek yakıtın **İzmir-Çiğli** ve **Ankara** tesisi çamurları ile kıyaslanmasına olanak sağlaması ve laboratuvar deneylerinin gerçek prosesleri ne kadar simule ettiğinin daha iyi anlaşılabilmesi hedeflenmiştir.

Karma Arıtma Çamuru, Kocaeli Büyükşehir Belediyesine bağlı 7 atıksu arıtma tesisine ve bazı işletmelerin biyolojik arıtma tesislerine ait çamurların birleşiminden oluşmaktadır. Bu atıksu arıtma tesisleri aşağıdaki gibidir;

- 42 Evler Atıksu Arıtma Tesisi
- Plajyolu Atıksu Arıtma Tesisi
- Körfez Atıksu Arıtma Tesisi
- Gebze Atıksu Arıtma Tesisi
- Gölcük Yeniköy Atıksu Arıtma Tesisi
- Kullar Atıksu Arıtma Tesisi
- Karamürsel Atıksu Arıtma Tesisi

Bu çalışmada ulaşılmaya çalışılan en önemli sonuç, en uygun arıtma çamuru ile yakıt karışımını bulmaktır. Ayrıca, yakma koşulları değiştikçe oluşan baca gazının değişimi de izlenerek uygun yakma koşulları saptanmaya çalışılmıştır. İncelemeye alınacak çamur örnekleri belirlendikten sonra kullanılacak yakıtlar incelenmeye başlanmıştır. Bu bağlamda, çimento fabrikalarında kullanımı en yaygın yakıt türü olan petrokoku karışımlar için kullanılmasına karar verilmiştir. Ayrıca, petrokoka ek olarak kömür de yakıt olarak seçilmiştir. Elde edilen petrokok ve kömür numunelerine ve seçilen İzmir Çiğli ve Ankara Tatlar AAT çamur numunelerine ait analizler aşağıda Tablo 11.18’de verilmiştir.

Tablo 11.18: Laboratuvar Ölçekli Yakma Denemelerinde Kullanılacak Numunelere Ait Analiz Sonuçları

Örnek	Nem (%)	Kül (%)	Alt Isıl Değer (cal/g)	Karbon (%)	Hidrojen (%)	Azot (%)	Kükürt (%)	Oksijen (%)
Ankara	4,5	43,9	2452,1	27,2	4,7	3,1	1,1	19,9
Çiğli	8,1	17,4	4078,1	40,8	7,3	5,3	1,4	27,8
İzmit								
Karma	4,3	36,3	3028,0	31,5	4,6	5,7	1,1	20,9
Kömür	4,3	17,2	6128,4	63,8	3,9	2,0	0,6	12,9
Petkok	7,0	0,7	8217,3	68,1	3,6	1,9	4,7	20,5

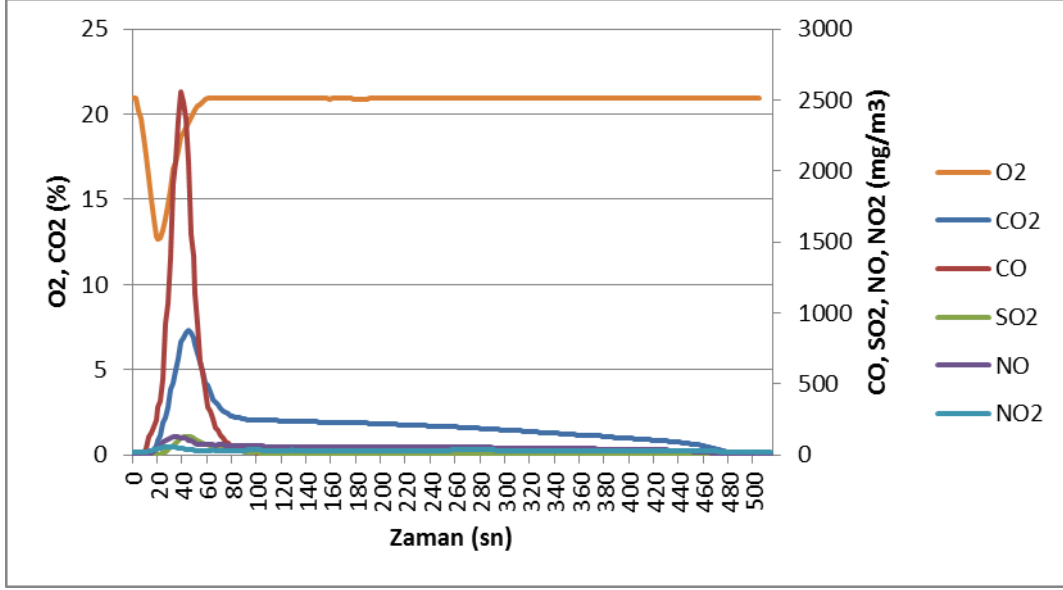
Daha önce çamur numunelerinde yapılan analizler, petrokok ve kömür numuneleri için de gerçekleştirilmiştir. Bu analiz sonuçlarından elde edilen verilere göre, petrokokun ısıl değeri diğer numunelerden oldukça yüksektir. Ayrıca, petrokokun yüksek kükürt içeriğine sahip olması da önemlidir. Hazırlanan karışımlarda yukarıdaki tabloda verilen ısıl değerler kullanılmıştır. Elde edilecek karışımlar için belirli bir kalori hedeflenmiştir. Hedeflenen enerji miktarına yakıtlara çeşitli oranlarda çamur numuneleri eklenerek ulaşılmaya çalışılmıştır. Bu hesaplama yöntemi reaktörün malzeme yakma kapasitesinin ortaya konulduğu bölümden sonra ele alınacaktır.

11.1.2.3. Laboratuvar Ölçekli Yakma Denemelerinde Kullanılacak Reaktör Üzerinde Yapılan Çalışmalar

Deney düzeneğinin tamamlanmasını takiben kurulan reaktörün hangi miktarlarda malzeme yakabileceği ortaya çıkarılmaya çalışılmıştır. Bu denemelerde dikkat edilen nokta, baca gazı ölçüm cihazı üzerinde elde edilen verilerdir. Aşağıdaki grafikte (Şekil 11.32) İzmir-Çiğli çamuru ve kömür karışımına ait örnek bir yakma deney sonucu gösterilmektedir. Sol dikey ekseninde CO₂ ve O₂ konsantrasyonu % olarak, sağ dikey ekseninde de CO, SO₂, NO ve NO₂ konsantrasyonları mg/m³ olarak verilmiştir.

Yakma denemelerinde kullanılan baca gazı ölçüm cihazı CO₂ emisyon değerini hacimce % cinsinden ölçmektedir. Yani reaktörden çıkan gaz içerisinde yüzde kaç karbondioksit olduğunu belirlemektedir. Diğer parametreleri ise cihaz öncelikle ppm bazında ölçmekte, sonradan bu değerleri mg/m³ bazına çevirmektedir.

Yakma denemeleri kendi aralarında değerlendirilirken baz alınan birincil parametre karbon monoksit emisyon değerleridir. Bu nedenle yapılan deneyler yorumlanırken ortalama karbon monoksit emisyon değerleri baz alınmıştır.



Şekil 11.32: İzmir-Çiğli Çamuru ve Kömür Karışımı Yanması Deney Sonucu

Gevşek Halde Hazırlanan Numunelerin Yakma Denemeleri

İş paketi 11 kapsamında değerlendirilecek parametrelerden bir tanesi çamurun gevşek ve pelet halinde yakılmasının karşılaştırılmasıdır. Bu amaçla, seçilen çamur ve yakıt örnekleri öncelikle gevşek halde yakma deneylerine tabi tutulmuştur. Yapılan bu çalışmada numuneler, farklı kütlelerde, 800°C sıcaklıkta, 1 L/dk gaz akış hızında yakılmıştır. Tablo 11.19 bu deneylerden elde edilen sonuçları özetlemektedir.

Deneylerin tamamlanmasını takiben belli sonuçlara ulaşılmıştır. Bu sonuçlardan elde edilen çıkarımlar aşağıda özetlenmektedir.

- Hazırlanacak karışımlardaki çamur kütlesi 0,10 gramı geçmemelidir.
- Petrokok yapısı itibariyle mevcut deney düzeneğinde en verimli yanan malzemedir.
- Çamurların kontrollü bir biçimde yakılması diğer yakıtlara göre daha zordur.
- Yakılacak malzemenin tutuşması için gerekli olan enerji miktarı arttıkça, yanma sonucu oluşacak olan karbon monoksit miktarı azalmaya başlamaktadır. Bu nedenle yanma reaksiyonlarının başlaması için gerekli enerji miktarı en az olan çamurda karbon monoksit oranları en yüksektir.
- Kömür, petkoka göre daha kolay tutuşturulabilir bir madde olduğu için karbon monoksit oranları daha yüksek çıkmıştır.

Pelet haline getirilmeyen karışımların yakma deneyleri sırasında homojen bir karışım elde edilemediği de görülmüştür. Bu nedenle gevşek halde yapılacak yakma denemeleri yukarıda

sonuçları verilen çalışmalarla sınırlı tutulmaya ve çalışmaların ağırlıklı olarak pelet halindeki örneklerle yapılmasına karar verilmiştir.

Tablo 11.19: Yakma Denemeleri Sonuçları

Sıcaklık (°C)	Hava Debisi (L/dk)	Numune İsmi	Numune Kütleli (gr)	CO ort. (mg/Nm ³)
800	1	Ankara A.Ç.*	0,05	0,12
	1	Ankara A.Ç.*	0,10	17,74
	1	Ankara A.Ç.*	0,15	22,65
	1	Ankara A.Ç.*	0,20	22,02
	1	Çiğli A.Ç.*	0,05	0,14
800	1	Çiğli A.Ç.*	0,10	37,63
	1	Çiğli A.Ç.*	0,15	23,41
	1	Çiğli A.Ç.*	0,20	19,74
	1	Çiğli A.Ç.*	0,25	20,67
	1	Kömür	0,10	4,47
800	1	Kömür	0,15	5,61
	1	Kömür	0,20	5,55
	1	Kömür	0,25	4,96
	1	Kömür	0,30	4,44
	1	Kömür	0,40	4,88
800	1	Petrokok	0,10	0,09
	1	Petrokok	0,15	0,06
	1	Petrokok	0,20	0,20
	1	Petrokok	0,25	1,69
	1	Petrokok	0,30	2,02
	1	Petrokok	0,40	1,87
	1	Petrokok	0,50	1,80

* A.Ç. : 35°C’de kurutulmuş arıtma çamuru

Laboratuvar Ölçekli Yakma Denemelerinde Kullanılacak Peletlerin Karışım İçeriğinin Belirlenmesi

Arıtma çamuru ek yakıt olarak kullanıldığı zaman yakıt karışımlarının oransal olarak hangi değerlerde tutulacağı konusunda 06.10.2010 tarihli 27721 Sayılı Atıkların Yakılmasına İlişkin Yönetmelik’te bahsi geçen;

“Beraber yakma tesisleri, baca gazı emisyonları, Ek-2’de belirlenen emisyon limit değerlerini aşmayacak şekilde tasarlanır, donatılır, inşa edilir ve işletilir. Bir beraber yakma tesisi ortaya çıkan yakıt anma ısı güç değerinin %40 veya daha azını atıktan sağlıyorsa, Ek-2’de belirlenen emisyon limit değerleri uygulanır. Yakıt anma ısı güç değerinin %40’dan fazlasını atıktan karşılıyor ise, bu tesis yakma tesisi olarak değerlendirilir. Ancak biyokütleyi katı yakıt olarak kullanan tesisler için bu sınırlama uygulanmaz.”

maddesi uyarınca enerji bazında çamurdan sağlanacak ısının toplam enerjinin %40'ından az olmasına dikkat etmek gereklidir. Bu bağlamda, karışımlardaki çamur miktarı, karışımın toplam ısı değerinin %3, %5, %10, %20 ve %30 değerlerini oluşturacak şekilde ayarlanmıştır. Aşağıda yapılan çalışmalardan hazırlanan yakıt-çamur karışım kütlelerinin hesaplanma yöntemi anlatılmaktadır. Tablo 11.19'da özetlenen ön yakma denemeleri sonrasında elde edilen sonuçlar, kullanılan reaktörün, kapasite bakımından 1000 kalorilik karışımları verimli yakabilecek nitelikte olduğu anlaşılmıştır. Buna göre 1000 kalori baz alınarak hesaplamalar yapılmıştır.

Aşağıdaki bağıntılar yakıt-çamur karışımlarının oluşturulması için kullanılmıştır.

$$\begin{aligned} 1000 \text{ kalori} &= (\text{Petrokok kütlesi}) \times (\text{Petrokok Isıl Değeri}) \\ &= (\text{Kömür kütlesi}) \times (\text{Kömür Isıl Değeri}) \\ &= (\text{Çamur Kütlesi}) \times (\text{Çamur Isıl Değeri}) \end{aligned}$$

Yukarıdaki bağıntıya kuru bazda ısı değerler girildiğinde;

$$\begin{aligned} 1000 \text{ kalori} &= (\text{Petrokok kütlesi}) \times (8217,3 \text{ kal/g}) \\ &= (\text{Kömür kütlesi}) \times (6128,4 \text{ kal/g}) \\ &= (\text{Karma A. Ç. kütlesi}) \times (3028,0 \text{ kal/g}) \\ &= (\text{İzmir/Çiğli A. Ç. kütlesi}) \times (4078,1 \text{ kal/g}) \\ &= (\text{Ankara A. Ç. kütlesi}) \times (2452,1 \text{ kal/g}) \end{aligned}$$

denklemleri elde edilmiştir. Buradan hareketle kuru bazda petrokok, kömür ve çamurun sağladıkları enerji bazında eşdeğer kütleleri aşağıdaki gibidir.

$$\begin{aligned} 0,1216g \text{ Petrokok} &= 0,1631g \text{ Kömür} = 0,2541g \text{ İzmir/Çiğli A. Ç.} \\ &= 0,4078g \text{ Ankara A. Ç.} = 0,3449g \text{ Karma A. Ç.} \end{aligned}$$

Yukarıdaki bağıntı elde edildikten sonra, yakıtların tek başına sağlayacağı 1000 kalorilik enerjinin kuru bazda sırasıyla %3, %5, %10, %20 ve %30'u kadarı çamur ile ikame edilecek şekilde karışımlar hazırlanmıştır. Bu kütleler hesaplandıktan sonra, yakıtların ve çamurun nem bilgileri girilerek karışım kütlelerinin nihai değerleri belirlenmiştir. Tablo 11.20'de hazırlanan karışımların içerdiği yakıt ve İzmir Çiğli AAT için çamur kütleleri görülmektedir. Tablo 11.21'de Ankara Tatlar AAT için, Tablo 11.22'de ise Karma A.Ç. için yapılan hesaplarla hazırlanan kütleler gösterilmektedir.

Tablo 11.20: İzmir-Çiğli Çamuru ile Hazırlanan Karışımların Kütleleri

Çamur Türü	Yakıt Türü	Çamur Oranı (%)	Yakıt Oranı (%)	Kuru Bazda Çamur Kütlesi	Kuru Bazda Yakıt Kütlesi	Nihai Çamur Kütlesi (gr)	Nihai Yakıt Kütlesi (gr)
İzmir-Çiğli	Petrokok	0	100	-	0,1216	-	0,1309
İzmir-Çiğli	Kömür	0	100	-	0,1631	-	0,1706
İzmir-Çiğli	Petrokok	3	97	0,0073	0,1180	0,0080	0,1269
İzmir-Çiğli	Kömür	3	97	0,0073	0,1582	0,0080	0,1655
İzmir-Çiğli	Petrokok	5	95	0,0122	0,1156	0,0133	0,1243
İzmir-Çiğli	Kömür	5	95	0,0122	0,1550	0,0133	0,1621
İzmir-Çiğli	Petrokok	10	90	0,0245	0,1095	0,0267	0,1178
İzmir-Çiğli	Kömür	10	90	0,0245	0,1468	0,0267	0,1535
İzmir-Çiğli	Petrokok	20	80	0,0490	0,0973	0,0533	0,1047
İzmir-Çiğli	Kömür	20	80	0,0490	0,1305	0,0533	0,1365
İzmir-Çiğli	Petrokok	30	70	0,0735	0,0851	0,0800	0,0916
İzmir-Çiğli	Kömür	30	70	0,0735	0,1142	0,0800	0,1194

Tablo 11.21: Ankara Tatlar Çamuru ile Hazırlanan Karışımların Kütleleri

Çamur Türü	Yakıt Türü	Çamur Oranı (%)	Yakıt Oranı (%)	Kuru Bazda Çamur Kütlesi	Kuru Bazda Yakıt Kütlesi	Nihai Çamur Kütlesi (gr)	Nihai Yakıt Kütlesi (gr)
Ankara	Petrokok	0	100	-	0,1216	-	0,1309
Ankara	Kömür	0	100	-	0,1631	-	0,1706
Ankara	Petrokok	3	97	0,0122	0,1180	0,0128	0,1269
Ankara	Kömür	3	97	0,0122	0,1582	0,0128	0,1655
Ankara	Petrokok	5	95	0,0203	0,1156	0,0214	0,1243
Ankara	Kömür	5	95	0,0203	0,1550	0,0214	0,1621
Ankara	Petrokok	10	90	0,0407	0,1095	0,0427	0,1178
Ankara	Kömür	10	90	0,0407	0,1468	0,0427	0,1535
Ankara	Petrokok	20	80	0,0815	0,0973	0,0854	0,1047
Ankara	Kömür	20	80	0,0815	0,1305	0,0854	0,1365
Ankara	Petrokok	30	70	0,1223	0,0851	0,1281	0,0916
Ankara	Kömür	30	70	0,1223	0,1142	0,1281	0,1194

Tablo 11.22: Karma Arıtma Çamuru ile Hazırlanan Karışımların Kütleleri

Çamur Türü	Yakıt Türü	Çamur Oranı (%)	Yakıt Oranı (%)	Kuru Bazda Çamur Kütlesi	Kuru Bazda Yakıt Kütlesi	Nihai Çamur Kütlesi (gr)	Nihai Yakıt Kütlesi (gr)
Ankara	Petrokok	0	100	-	0,1216	-	0,1309
Ankara	Kömür	0	100	-	0,1631	-	0,1706
Ankara	Petrokok	3	97	0,0099	0,1180	0,0103	0,1269
Ankara	Kömür	3	97	0,0099	0,1582	0,0103	0,1655
Ankara	Petrokok	5	95	0,0165	0,1156	0,0172	0,1243
Ankara	Kömür	5	95	0,0165	0,1550	0,0172	0,1621
Ankara	Petrokok	10	90	0,0330	0,1095	0,0345	0,1178
Ankara	Kömür	10	90	0,0330	0,1468	0,0345	0,1535
Ankara	Petrokok	20	80	0,0660	0,0973	0,0690	0,1047
Ankara	Kömür	20	80	0,0660	0,1305	0,0690	0,1365
Ankara	Petrokok	30	70	0,0990	0,0851	0,1035	0,0916
Ankara	Kömür	30	70	0,0990	0,1142	0,1035	0,1194

Laboratuvar Ölçekli Yakma Denemelerinde Kullanılacak Değişkenler

Bu çalışmada, iş paketi 11 kapsamında belirtildiği üzere değişik sıcaklık değerleri ve çamur-yakıt karışım oranlarında yapılacak denemelerde açığa çıkacak emisyon değerlerine göre en uygun parametreler seçilecektir. Pelet halinde yakılacak karışım numuneleri 3 tekrar ile yapılmış ve deneylerin tekrarlanabilirliği test edilmiştir. Karşılaştırmalı olarak değerlendirilecek parametre olan emisyon değerleri de, tekrar olarak yapılan 3 deney sonucunun ortalamaları alınarak oluşturulmuştur.

Tablo 11.23’de çeşitli çamur-yakıt karışımında en uygun çamur oranını bulabilmek için yapılan deneylerde kullanılan deney parametreleri yer almaktadır.

Tablo 11.23: Çamur-Yakıt Karışım Oranlarını Belirleme Deneyleri için Kullanılan Deney Parametreleri

Çamur Türü	Yakıt Türü	Karışımında enerji bazında çamur yüzdeleri	Sıcaklık	Gaz Akış Hızı
İzmir-Çiğli Çamuru	Petrokok, ve Kömür	%0, %3, %5, %10, %20, %30	800°C, 850°C, 900°C	1 L/dk
Ankara-Tatlar Çamuru	Petrokok ve Kömür	%0, %3, %5, %10, %20, %30	800°C, 850°C, 900°C	1 L/dk

Laboratuvar Ölçekli Yakma Deneylerinden Elde Edilen Sonuçlar

Aşağıda farklı yakıt türü, sıcaklık ve karışım oranlarındaki yakma deneylerine ait sonuçları yer almaktadır. Grafiklerde 3 tekrarlı yapılan deneylerin ortalama sonuçları ve standart sapmaları yer almaktadır. Grafikler, yakma denemelerinin ne kadar başarılı yapıldığını göstermektedir. Bu yüzden yalnızca CO ve CO₂ emisyonları dikkate alınarak hazırlanmıştır.

Yakma denemelerinin düzgün bir biçimde gerçekleşip gerçekleşmediğini hesaplamak için bir yöntem geliştirilmiştir. Bu hesaplama göre, yanma sonucu oluşan karbon monoksit ve karbon dioksit gazlarının toplam kütlesi hesaplanmıştır. Bu hesaplama yapılırken;

- Gaz akış hızı
- Emisyon değerleri
- Emisyonların görüldüğü toplam süre
- Gazın sıcaklığı

gibi parametreler dikkate alınmıştır. Yukarıdaki değişkenler göz önünde bulundurularak öncelikle oluşan emisyon gazlarının toplam hacmi hesaplanmış, daha sonra “ideal gaz yasası” kullanılarak bu gazların kütleleri ve daha sonra bu kütleler içerisindeki “karbon” değerleri

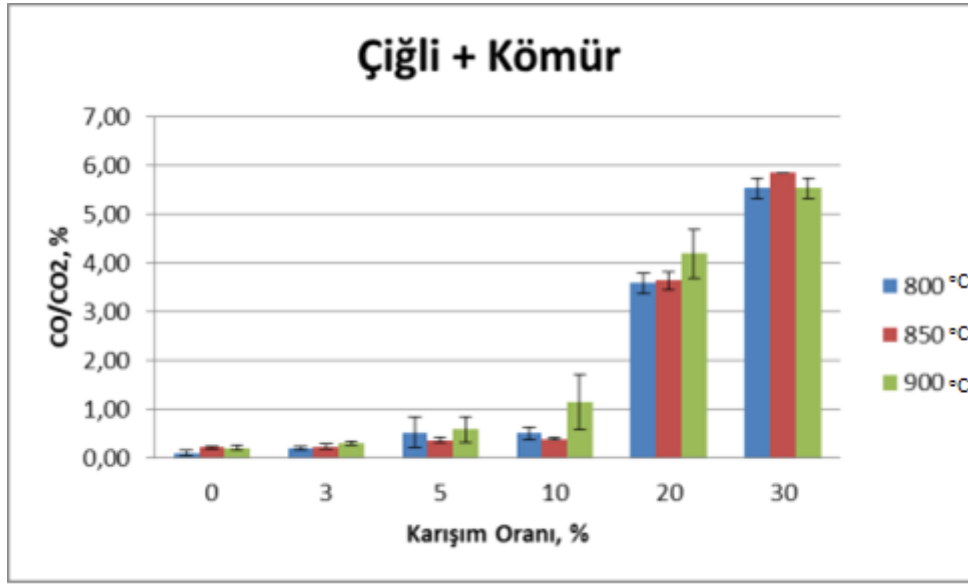
hesaplanmıştır. Yani oluşturulan bu yöntem sonucunda her yakma denemesine ait iki adet sayısal değer elde edilmiştir. Bunlardan ilki;

- Yanma sonucunda karbon monoksit emisyonu olarak açığa çıkan karbon miktarıdır. İkincisi ise;

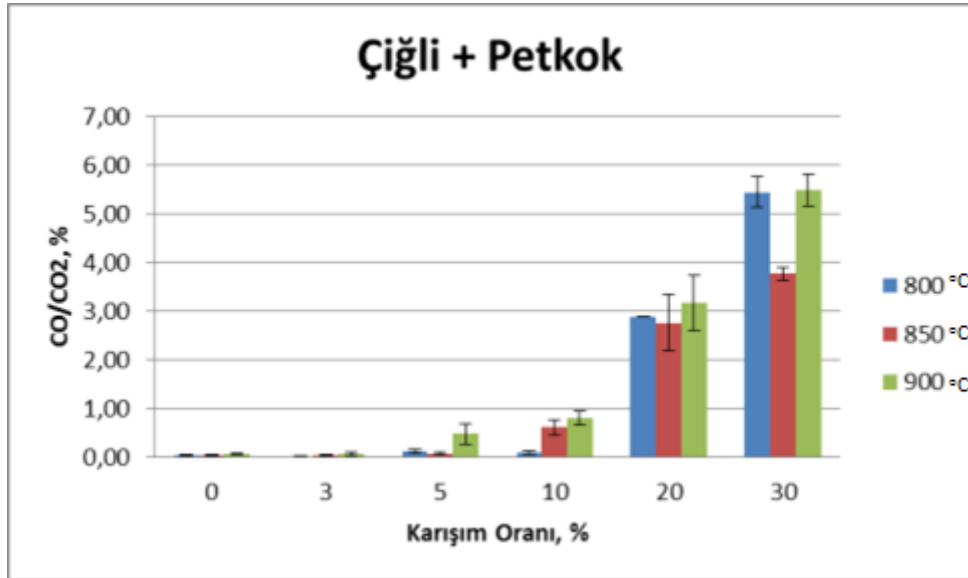
- Yanma sonucunda karbon dioksit emisyonu olarak açığa çıkan karbon miktarıdır. Bu şekilde hesaplanan iki değerden elde edilen oran, karbon dioksite dönüşen karbonun toplam karbon miktarına oranı, yakma denemesinin ne kadar başarılı yapıldığının göstergesi olmuştur. Tablolarda ise 3 tekrarlı yapılan yakma denemelerine ait emisyon sonuçları yer almaktadır. Tablolarda karbon monoksitin yanı sıra, SO₂, NO ve NO₂ parametreleri listelenmiştir. Bunun sonucunda yakıt türleri arasında emisyon kalitesi açısından bir değerlendirme yapma imkanı sağlanmıştır. Tablolarda verilen değerler ortalama emisyon değerlerini göstermektedir. Yakma reaktörü kesikli çalıştırıldığı için emisyonlar da ortalama değerler olarak çıkmamakta, pikler yapmaktadır. Bu yüzden farklı denemeleri karşılaştırma yapma imkanı elde edebilmek için bu değerlerin ortalaması alınmıştır.

İzmir-Çiğli A.C. 'na ait Yakma Denev Sonucları

İzmir-Çiğli A.C. 'nin içerdiği yüksek uçucu madde ve yüksek ısı değeri, bu çamurun yanma reaksiyonlarına çabuk girmesine neden olduğu düşünülmektedir. Bunun sonucunda İzmir-Çiğli 'nin ek yakıt olarak kullanıldığı denemelerde karbon monoksit emisyonları açısından en yüksek değerlere ulaşılmıştır. Hem petrokok, hem de kömürün birincil yakıt olarak kullanıldığı durumlarda çamurun enerji bazında %20'den fazla verilmesi karbon monoksit emisyonunu ciddi biçimde artırmıştır (Şekil 11.33 ve Şekil 11.34).



Şekil 11.33: İzmir-Çiğli A.Ç. ile Kömür Karışımı Yanması Deneş Sonuçları



Şekil 11.34: İzmir-Çiğli A.Ç. ile Petkok Karışımı Yanması Deneş Sonuçları

Bu durum gerçek yakma sistemlerinde örneğın imento fabrikalarında gerçekleşmeyebilir, ancak yine de arıtma çamurunun yakıt özelliklerinin kömür ve petkok gibi birincil yakıtlara benzemediğı açıkça görölmüşür.

Tablolarda 3 tekrarlı yapılan deneylerin ortalama sonuçları ve standart sapmaları yer almaktadır. Tablo 11.24'den göröldüğü gibi yakıt içinde (kömür) arıtma amuru (İzmir AAT amuru) miktarı arttıkça (%0'dan %30'a) emisyonlardaki CO miktarı da artmaktadır. Özellikle %20'den (ara ara da %10'dan) yukarıya çıkan arıtma çamuru miktarı ile CO miktarları aşırı yükselmeler göstermektedir. Bu durum artan atık miktarı ile tam yanmanın güçleştiğini ve

tamamlanamadığını göstermektedir. Öte taraftan SO₂ ya da azot oksitler için durum birebir aynı görünmemektedir. SO₂ artan çamurlaartmakla beraber CO miktarında olduğu gibi keskin bir yükseliş göstermemektedir.

Tablo 11.24: İzmir-Çiğli AAT Çamurunun Uygun Çamur-Yakıt Karışım Oranlarını Belirleme Deney Sonuçları

İzmir Çiğli							
A.Ç.+Kömür		%0	%3	%5	%10	%20	%30
CO (mg/Nm ³)	800 (°C)	23,6±14,4	33,7±5,7	116,1±95,7	104,9±18,7	406,6±16,2	583,1±61,5
	850 (°C)	40,1±4,7	44,2±8,8	76,8±17,6	103,9±25,8	361,1±55,4	549,3±128,1
	900 (°C)	45,2±13,4	81,4±17,9	132,3±71,1	401,6±142,4	374±229,3	472,2±148,5
SO ₂ (mg/Nm ³)	800 (°C)	51,5±41,5	49,7±5,9	76,4±30,5	60,8±28,8	237,5±53,2	180,8±14,8
	850 (°C)	55±15,1	57,7±4,9	80,1±11,3	112,5±26,7	208,3±39,4	208,1±54
	900 (°C)	59,3±23,8	103,9±20,5	139,3±60,1	147,5±42,6	241,4±99,8	222,2±102,4
NO (mg/Nm ³)	800 (°C)	58,4±44,8	56,9±4,3	55,4±12,8	69,9±18,7	95,2±38	61,3±12,3
	850 (°C)	47,8±6,7	43,3±5,9	52,8±10,8	53,8±17,7	56,5±3,8	54,8±18,5
	900 (°C)	56,9±10,4	61±11,8	52,3±20,1	68,6±13,9	38±32,6	40,1±35
NO ₂ (mg/Nm ³)	800 (°C)	20±1,4	21,7±0,1	12,3±0,4	33,1±1,5	24,5±9,1	38±4,6
	850 (°C)	11,5±1,4	10,7±1,8	13,2±0,7	25,1±13,1	25,5±10	20,1±1,3
	900 (°C)	12,2±1	12,6±0,4	13,8±1,8	20,4±0,7	7,9±6,9	15,1±17
İzmir Çiğli							
A.Ç.+Petkok		%0	%3	%5	%10	%20	%30
CO (mg/Nm ³)	800 (°C)	5±1,1	1,3±0,2	11,7±12	14,8±11,5	83,7±45	427±66,2
	850 (°C)	6,9±2	7,7±2,6	12,6±4,9	164,9±182,5	208,2±27,1	367±102,1
	900 (°C)	10,4±1,5	12,7±3,4	109,3±68	3,2±2	218,5±94,3	497,1±121,4
SO ₂ (mg/Nm ³)	800 (°C)	443,1±30,3	299,3±55,8	452,6±90,7	625,5±140,5	631,9±166,9	586,2±83,5
	850 (°C)	781,8±85,9	703,6±162	597,1±54,6	855±371,5	611,6±109,7	505,6±109
	900 (°C)	673,4±46,6	813,6±122,3	937,2±171,1	642,9±86,5	695,4±13,1	747,5±242,9
NO (mg/Nm ³)	800 (°C)	51,7±7,2	15,5±6,5	41,7±19,3	85,5±10,1	69,6±4,6	77,5±4,1
	850 (°C)	70,8±9,8	64,1±34,5	70,3±14,3	46,2±42,5	51,6±16,6	53,8±3,3
	900 (°C)	47,4±13,2	48,1±10,4	71,9±24,6	54,5±14,1	55,4±11,8	67,1±7,7
NO ₂ (mg/Nm ³)	800 (°C)	17,8±0,8	10,6±1,1	10,6±1,2	34,6±2,1	23,7±3,7	31,8±10,4
	850 (°C)	12,5±0,8	17,3±4,1	19,8±1,1	10±14,1	13,4±0,5	15,2±0,5
	900 (°C)	11,3±0,8	13,1±0,7	11,9±0,9	20,2±0,4	21,1±0,4	21,6±0,1

Benzer şekilde NO ya da NO₂ de artan çamur miktarı ile bariz bir artma eğilimi göstermemektedir. Bu durum da bu kirleticilerin çamurdan kaynaklanmamakta olduklarını göstermektedir. Petkok için durum benzer olmakla beraber petkokun içindeki kükürt miktarının yüksekliği sebebi ile emisyonlardaki SO₂ değerleri CO değerlerinin çok üzerindedir.

Artan çamur miktarları ile baca gazı içindeki SO₂ miktarları da yer yer azalmaktadır. NO ya da NO₂ miktarları ise petrokok yakıldığı durumda da oldukça düşük görülmektedir. Artan çamur miktarları ile önemli artışlar görülmemektedir.

Sıcaklık arttıkça CO miktarının özellikle kömür-çamur karışımlarında arttığı, petrokok-çamur karışımlarında ise aynı mertebede artmadığı görülmektedir. Diğer taraftan petrokok çamur karışımlarında sıcaklık arttıkça SO₂ miktarları artmaktadır. NO ve NO₂ konsantrasyonlarının ise düşük sıcaklıklarda daha yüksek oldukları görülmektedir. Bu da bu gazların düşük sıcaklıklarda yakma havasından daha yüksek miktarlarda fikse edilerek baca gazı içinde yer aldıklarını göstermektedir.

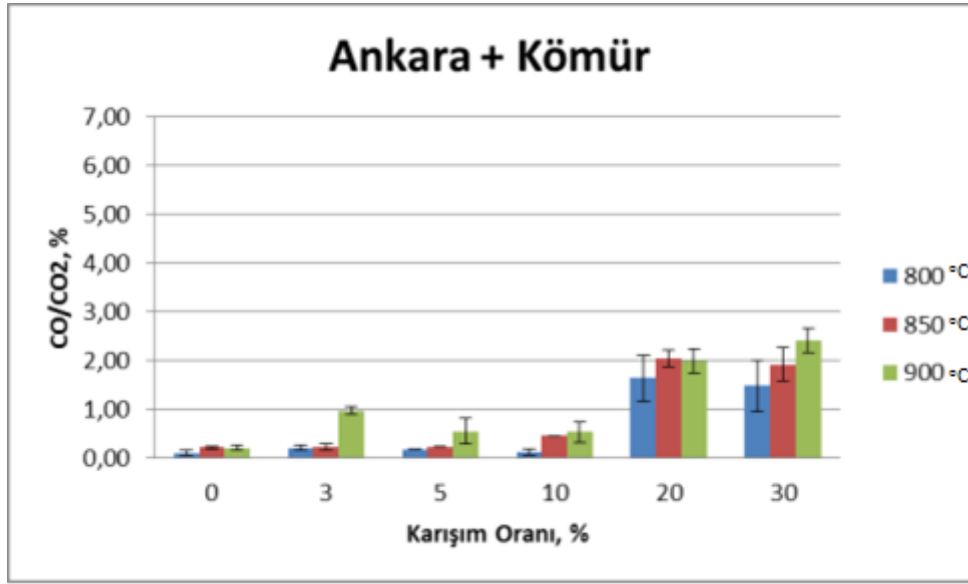
İzmir AAT çamurlarının kömürle yakıldığı durum için CO oluşumu baz alındığında % 10'dan fazla çamur ilavesinin (özellikle de %20'den fazla çamur ilavesinin) yanmayı aşırı kötüleştirdiği, petrokok ile çamurun birlikte yakıldığı durum için ise CO açısından çok SO₂ açısından sorun olduğu, ancak çamur ilavesinden bağımsız olarak neredeyse her çamur dozunda yüksek miktarlarda SO₂ oluştuğu görülmektedir.

Bu bulgularla İzmir AAT çamurları için elde edilen sonuçlar şu şekilde özetlenebilir.

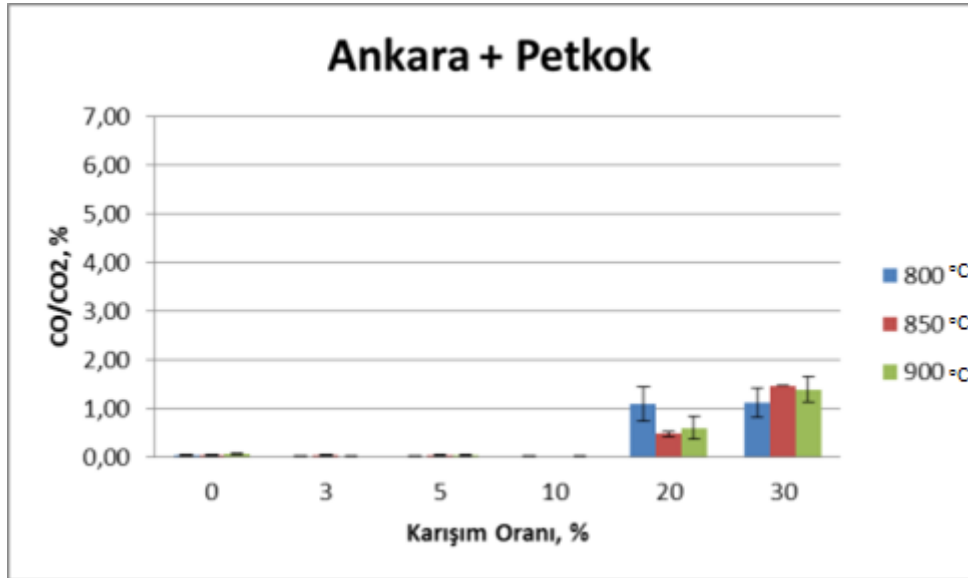
- Petrokok, yüksek kükürt içeriği nedeniyle, bütün yanma denemelerinde yüksek SO₂ emisyonları çıkmasına neden olmuştur.
- CO emisyonu, sıcaklık ile doğru orantılı olarak yükselmektedir. Bu duruma reaktör düzeneğinin yol açtığı düşünülmektedir.
- Mevcut reaktör düzeneğinde optimum sıcaklığın 850°C olduğu saptanmıştır.
- CO emisyonu ayrıca karışımlardaki çamur içeriği ile de doğru orantılı olarak artmaktadır.
- Çamurun yakıt ile karışım oranı %10'u geçmemelidir.

Ankara A.Ç. 'na Ait Yakma Deney Sonuçları

Ankara A.Ç. diğer iki arıtma çamuruna göre en düşük kalorifik değere ve en düşük uçucu maddeye sahiptir. Yakma denemelerinde ortaya çıkan karbon monoksit emisyonları karşılaştırıldığında, benzer bir şekilde en düşük emisyon değerleri görülmektedir (Şekil 11.35 ve Şekil 11.36).



Şekil 11.35: Ankara A.Ç. ile Kömür Karışımı Yanması Deney Sonuçları



Şekil 11.36: Ankara A.Ç. ile Petkok Karışımı Yanması Deney Sonuçları

Ankara A.Ç. her iki yakıt türü için geçerli olmak kaydıyla en düşük emsiyon değerleri üretmiştir. Yani, Ankara A.Ç. ile yapılan yakma denemeleri en başarılı sonuçları üretmiş, yapılan denemelerde tam yanmaya en yakın değerler sağlanmıştır.

Tablo 11.25'de ise Ankara Tatlar AAT çamuru üzerinde yapılan çalışmaların sonuçları yer almaktadır. Tablolarda İzmir-Çiğli A.Ç. yakma deney sonuçlarında olduğu gibi benzer parametreler listelenmiştir. Ortalama emisyonlar göz önüne alındığında Ankara A.Ç.'nin her iki yakıt türüne %10'dan fazla eklendiği durumlarda yakma işleminin veriminin düştüğü

gözlenmiştir. Kükürt dioksit emisyonlarında, İzmir-Çiğli yakma denemelerinde ulaşılan sonuçlara benzer sonuçlar elde edilmiştir.

Tablo 11.25: Ankara Tatlar AAT Çamurunun Uygun Çamur-Yakıt Karışım Oranlarını Belirleme Deney Sonuçları

Ankara A.Ç.+ Kömür		%0	%3	%5	%10	%20	%30
CO (mg/Nm ³)	800 (°C)	23,6±14,4	42,2±15,6	40,6±1,7	66,8±66,4	291,6±219,6	364,3±135
	850 (°C)	40,1±4,7	42,2±15,2	48,3±1,8	131,6±57	568±47,1	402,4±79
	900 (°C)	45,2±13,4	35,3±11,5	67,9±9,6	85,8±37,3	460±130,8	548,6±172,3
SO ₂ (mg/Nm ³)	800 (°C)	51,5±41,5	90,1±24,1	83±1,3	132,4±25,8	183,5±31,3	185,9±15,8
	850 (°C)	55±15,1	92,5±0,9	87,1±16,8	121±13,5	263,7±31,5	183,3±12,4
	900 (°C)	59,3±23,8	76,2±35,3	97,1±15,6	137,2±23,9	183,4±30,9	238,4±52,3
NO (mg/Nm ³)	800 (°C)	58,4±44,8	68,7±1,5	72,4±7,4	87,2±13,3	84,7±9,1	96,9±3,1
	850 (°C)	47,8±6,7	73,6±17,6	59,7±8,8	69,1±15,6	84,6±9,4	49,4±4,1
	900 (°C)	56,9±10,4	45,7±9,9	66,1±12,4	54,6±7	127,8±131,7	49,3±15,8
NO ₂ (mg/Nm ³)	800 (°C)	20±1,4	23,4±0,6	26,1±1	19,3±0,3	20,5±0,7	19,6±0,3
	850 (°C)	11,5±1,4	16,8±1,4	23±1,3	19,6±0,5	13,6±0,7	13,2±0,2
	900 (°C)	12,2±1	13,3±0,5	11,6±0,6	16,3±0,9	15,3±0,5	15,1±0,4
Ankara A.Ç.+Petkok		%0	%3	%5	%10	%20	%30
CO (mg/Nm ³)	800 (°C)	5±1,1	5,3±1,9	5,2±4,6	40,5±63,7	219,7±59,1	200,7±18
	850 (°C)	6,9±2	7,8±2,4	5,5±2,3	0,7±0,7	87,5±13,7	288,1±20,3
	900 (°C)	10,4±1,5	7,6±2,1	9,5±3,7	2,7±2,3	100±36,1	213,7±89,1
SO ₂ (mg/Nm ³)	800 (°C)	443,1±30,3	699,8±51	646,9±70,4	782,3±104,5	695,1±98,3	517,5±55,2
	850 (°C)	781,8±85,9	663,1±50,4	522±66,2	521,4±183,6	606,8±50,3	586,8±59,6
	900 (°C)	673,4±46,6	596,3±55,3	536±36	478,3±343,8	609,4±25,3	524,5±132,6
NO ₂ (mg/Nm ³)	800 (°C)	17,8±0,8	32,6±19,3	41,2±3,1	33,7±1,8	23,9±0,7	27,8±0,5
	850 (°C)	12,5±0,8	17,8±1,5	28,9±1,7	24,3±2,4	28,4±1	20,5±0,2
	900 (°C)	11,3±0,8	15,4±5,4	11,6±1,6	13,4±11,6	19,3±0,9	22,3±0,1

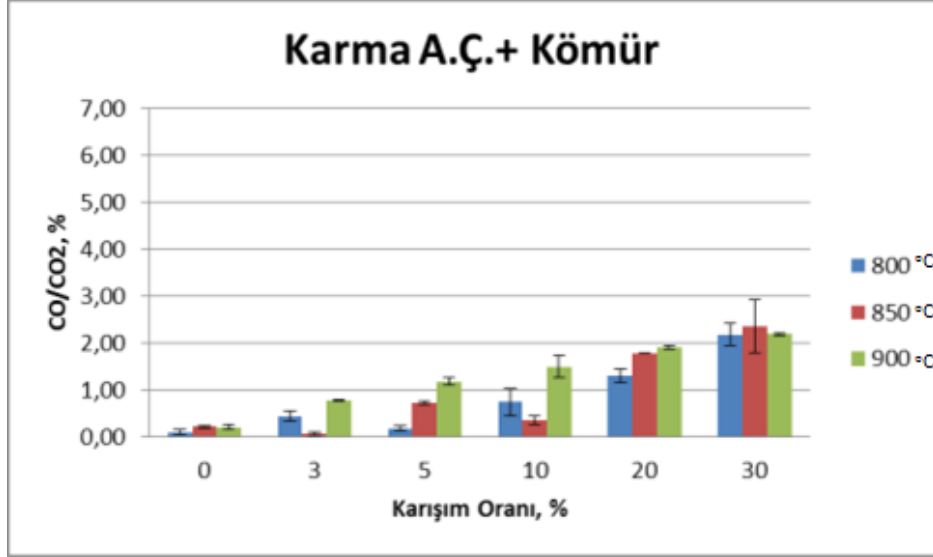
Petrokok yakılmasında SO₂ miktarları öne çıkmaktadır ve bu miktarlar çamur ilavesi ile önemli düşüşler göstermemektedir. NO ve NO₂ gazlarının durumları da İzmir çamurunun yakılmasındakine benzerdir. Konsantrasyonlar görece düşüktür ve artan çamur miktarları ile ilgili görülmemektedir. Ankara çamurları üzerinde yapılan yakma denemelerinin;

- Karbon monoksi emisyon değerleri bakımından en düşük seviyelerin elde edildiği
- Yakma denemelerinin verimlilik açısından en yüksek olduğu
- SO₂ ve NO emisyon değerlerinin İzmir-Çiğli A.Ç. ile benzer özellikler gösterdiği

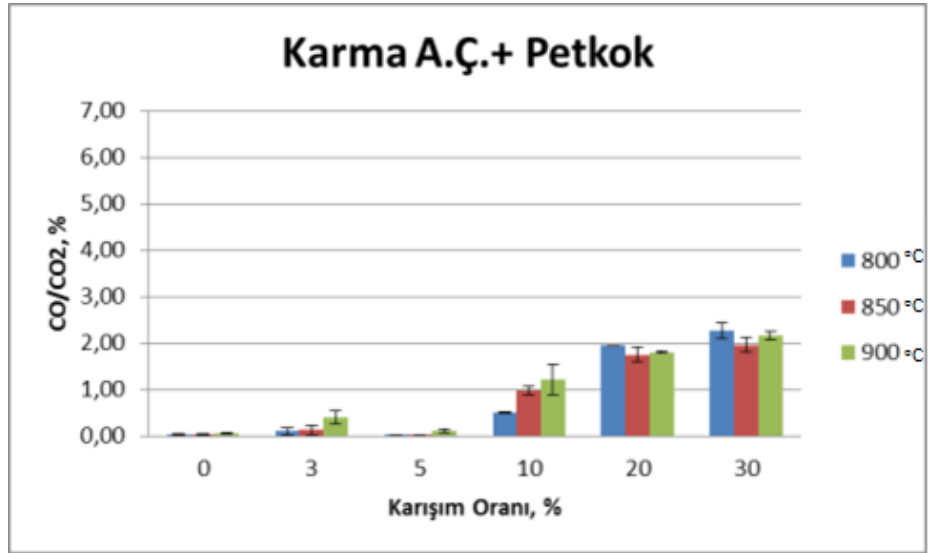
gözlenmiştir..

İzmit Karma A.Ç. 'na Ait Yakma Deney Sonuçları

Karma arıtma çamuru, ısıl değer bakımından diğer iki çamurun arasında yer almaktadır. Yukarıda ulaşılan sonuçlara ek olarak Karma A.Ç. ile yapılan yakma denemelerinde elde edilen karbon monoksit miktarı İzmir Çiğli A.Ç. ve Ankara A.Ç. değerleri arasında yer almıştır (Şekil 11.37 ve Şekil 11.38).



Şekil 11.37: Karma A.Ç. ile kömür karışımı yanması deney sonuçları



Şekil 11.38: Karma A.Ç. ile petkok karışımı yanması deney sonuçları

Yanma verimliliği ile karışım oranı ilişkisi, diğer çamurlar ile yapılan deneylerde ulaşılan sonuçları teyit etmektedir. Hazırlanan karışımlarda yapılan yakma denemelerinde elde edilen karbon monoksit miktarı belirli bir noktadan sonra ani bir yükselişe geçmektedir. Bu oran Karma A.Ç. ve kömür karışımları için %5, petkok karışımları için %10 olarak belirlenmiştir.

Tablo 11.26: Karma Arıtma Çamurunun Uygun Çamur-Yakıt Karışım Oranlarını Belirleme Denev Sonuçları

Karma A..+Kömür		%0	%3	%5	%10	%20	%30
CO (mg/Nm ³)	800 (°C)	23,6±14,4	78,8±8	36,9±11,4	197,5±99,6	270,8±1,9	543,5±101,8
	850 (°C)	40,1±4,7	17,1±11,2	162,6±39,8	81±31,4	539±11,4	628,7±247,5
	900 (°C)	45,2±13,4	193,4±35,5	341,4±8,1	391±39,8	567,6±20,2	627±8
SO ₂ (mg/Nm ³)	800 (°C)	51,5±41,5	35,1±3,1	40,7±2,8	94,7±38,3	85,3±6,7	128,1±20,3
	850 (°C)	55±15,1	38,4±11,6	77,3±35,4	56,4±14,2	132,7±2,5	117,8±32,1
	900 (°C)	59,3±23,8	71,7±8,8	108,8±3	96±2,5	122,1±1,4	96±6,7
NO (mg/Nm ³)	800 (°C)	58,4±44,8	3±1,2	8,4±1,1	14,7±9,9	8,4±4,1	26,2±8,3
	850 (°C)	47,8±6,7	4,2±3,5	10,7±10,6	0,9±0,9	11,9±5,6	13,1±11
	900 (°C)	56,9±10,4	0±0	0,2±0,2	0±0	6,2±6,2	0±0
Karma A..+Petkok		%0	%3	%5	%10	%20	%30
CO (mg/Nm ³)	800 (°C)	5±1,1	34,5±34,5	231,1±78,2	93,9±13,5	368,4±27,1	596,6±68,9
	850 (°C)	6,9±2	318,8±268,2	5,3±0,3	179±10,7	376,6±93,4	409,2±70,6
	900 (°C)	10,4±1,5	96,2±47,8	27,6±15	305,8±141	478,4±21,4	443,6±19,9
SO ₂ (mg/Nm ³)	800 (°C)	443,1±30,3	313±313	650,3±7,3	502,2±74	438,9±41,5	572,7±44,5
	850 (°C)	781,8±85,9	533±7,3	440,9±102	510,9±21,9	551,5±97,8	466,4±52,4
	900 (°C)	673,4±46,6	697,7±171,2	705,5±118,6	753,5±170,1	784,8±11,3	544±39,4
NO (mg/Nm ³)	800 (°C)	51,7±7,2	0±0	0±0	40,1±24,5	9,3±0,1	5,1±5,1
	850 (°C)	70,8±9,8	0,1±0,1	0±0	0,4±0,4	1±1	0,9±0,9
	900 (°C)	47,4±13,2	6,6±4,9	3,7±0,1	9,4±8,8	1,5±1	1±0,1

Ortalama emisyon değerleri, Karma A..'nin kömüre eklendikçe SO₂ emisyonlarını artırdığı görülmektedir. Petkokun kükürt miktarı oldukça yüksek olduğundan, Karma A.. eklenmesi SO₂emisyonları üzerinde bir değişikliğe neden olmamıştır. Bunun yanı sıra, Karma A.. kömür oranının %5'i geçmesi, karbon monoksit emisyonlarının ciddi biçimde artmasına neden olabileceği görülmüştür. Bu oran petkok – amur karışımlarında %10'u bulabilir.

Hazırlanan yakma reaktöründe gözlenen en önemli sonuç, arıtma amurlarının ısıl değerinin yanma verimiyle ters orantılı olarak ilişkili olmasıdır. En yüksek ısıl değere sahip olan İzmir-Çiğli A.. karışımlarında en düşük yanma verimine, en düşük ısıl değere sahip olan Ankara A.. karışımlarında en yüksek yanma verimine ulaşılmıştır. Isıl değeri bu iki arıtma çamuru arasında olan Karma A..'nin yanma verimi de yine elde edilen değerlerin arasında kalmıştır.

Reaktörde yapılan denemelerde ulaşılan bir diğer önemli sonuç ise, kükürt içeriği açısından düşük olan kömüre çamur eklenmesinin SO₂ emisyonlarını artırdığıdır. Bu sonuç özellikle bütün arıtma çamurlarında gözlenmiştir. Bunun aksine, kükürt içeriği oldukça yüksek olan petkok ile hazırlanan karışımlarda böyle bir duruma rastlanmamıştır. Bu sonuç, kükürt içeriği düşük yakıtlar kullanan tesislerde arıtma çamurunun ek yakıt olarak yüksek oranlarda kullanılmasının SO₂ emisyon seviyesini yükselteceği düşünülmektedir.

11.1.3. SEÇİLMİŞ ATIKSU ARITMA TESİSİ ÇAMURLARININ PİŞEBİLİRLİĞİNİN DEĞERLENDİRMESİ

Arıtma çamurlarının çimento fabrikalarında yakılması konusunun araştırılması laboratuvar ölçekli pişme testleri yapılması ile değerlendirilebilir. Bu tür bir çalışma ile elde edilen bilgiler arıtma çamurunun çimentoya hammadde olarak ürün kalitesini etkilemeden ne kadar eklenebileceği konusuna açıklık getirecektir. Bu konuda TÇMB Ar-Ge Laboratuvarından hizmet alımı yapılmış ve öncelikle Ankara Tatlar ve İzmir Çiğli Atıksu Arıtma Tesisi arıtma çamurları için pişebilirlik deneyleri yapılmıştır. Deneysel çalışmanın detayları ve sonuçların değerlendirilmesi aktarılmadan önce pişebilirlik kavramına ilişkin gerekli altyapı bilgileri sunulmaktadır.

Çimento Hammaddeleri ve Pişme Modülleri

Çimento endüstrisinde temel iki hammadde kaynağı kireçtaşı ve kildir. Kireçtaşı CaO, kil ise SiO₂, Al₂O₃ ve Fe₂O₃ kaynağı olarak bilinmektedir. Çimento üretim sürecinde ocaktan çıkan temel iki hammadde öğütüldükten sonra belli oranlarda karıştırılıp harmanlanmakta ve 1450°C’de sinterlenmek üzere fırına beslenmektedir. Bu karışıma ham karışım, fırın besleme ya da farin denmektedir. 1450°C, son ürün olan çimentonun yarı mamul maddesi klinkerin olduğu sıcaklıktır. Klinkerin alçıtaşı ile öğütülmesiyle de çimento elde edilmektedir.

Klinkerizasyon, farindeki dört ana oksitin birleşmesi sonucunda klinker fazlarının oluşumu anlamına gelmektedir. Bu süreçte CaO’in SiO₂ ile reaksiyonu sonucu klinkerdeki kalsiyum silikat fazları Alit (C₃S) ve Belit (C₂S), CaO’in Al₂O₃ ve Fe₂O₃ ile reaksiyonu sonucunda da kalsiyum alüminat (C₃A) ve kalsiyum alüminoferrit (C₄AF) oluşmaktadır.

Farin içerisindeki temel bileşenlerin karıştırılma oranları hedeflenen optimum pişme kriterlerine uygun olarak çeşitli modüllerle desteklenmektedir. Pişirme süreci ancak uygun karışım sağlandıktan sonra başlamaktadır. Pişebilirlik yönünden incelenen ve ham karışım oranlarını belirleyen modüller aşağıdaki şekilde özetlenebilir.

LSF (Lime Saturation Factor- Kirece Doygunluk Katsayısı)

$$LSF= 100 \text{ CaO} / (2,80 \text{ SiO}_2 + 1,18 \text{ Al}_2\text{O}_3 + 0,65 \text{ Fe}_2\text{O}_3)$$

Genellikle yüzdesel olarak ifade edilmektedir. LSF oranı klinkerde alitin belite oranını kontrol etmektedir ve klinkerin istenmeyen oranda serbest kireç ($\text{S.CaO} > \%2$) içerip içermeyeceği hakkında fikir vermektedir. Serbest kireç oranının $\%2$ 'nin üzerinde olması malzemenin pişme kabiliyetinin zayıf olduğunun bir göstergesidir. Klinker için uygun LSF aralığı $\%96- 98$ olarak tanımlanmaktadır (Hewlett, 2004; Taylor, 1990; Kuleli, 2010).

SM (Silica Modulus- Silis Modülü)

$$SM= \text{SiO}_2 / (\text{Al}_2\text{O}_3 + \text{Fe}_2\text{O}_3)$$

Silis modülü ham karışımın pişebilirliğini temsil etmektedir. Silis oranının alüminyum ve demir içeriğine göre fazla olması daha az oranda sıvı faz oluşumunun gerçekleşmesine, böylece ham karışımdaki bileşenlerin birleşme kapasitelerindeki azalmaya işaret etmektedir. Klinker için uygun SM aralığı 2,3- 2,6 olarak tanımlanmaktadır (Taylor, 1990; Kuleli, 2010).

AM (Alumina Modulus- Alümina Modülü)

$$AM= \text{Al}_2\text{O}_3 / \text{Fe}_2\text{O}_3$$

Klinkerleşme sıcaklığında alüminyum ve demir oksitler sıvı evrededir, bu nedenle de AM tepkime karışımının sıvı evresinin bileşimini belirlemektedir. AM'nün yüksek olması eriyik kıvamının fazla olması anlamına gelmektedir. Fazların oluşmasına olumlu etki yapmaktadır. Klinker için uygun AM aralığı 1,3- 1,8 olarak tanımlanmaktadır (Taylor, 1990; Kuleli, 2010).

Klinkerleşme Süreci ve Klinker Fazları

Klinkerleşme Süreci

Klinkerleşme süreci fırın içinde gerçekleşen reaksiyonları ve soğutmayı kapsamaktadır. Fırına verilecek malzeme kullanılan sisteme göre değişkenlik göstermektedir. Bu süreç dahilinde, materyaller fırın içindeyken temel olarak üç ana aşamadan geçmektedirler. Bunlar sırasıyla kurutma ya da önısıtma, kalsinasyon ve sinterleşmedir. Bu aşamaları geçen malzeme hemen soğutmaya tabi tutulmaktadır. Sonuçta ortaya çıkan malzeme klinkerdir.

Klinker Fazları

Kalsiyum silikatlar

1. Alit (Tri-kalsiyum Silikat, C₃S)

Portland çimentosu klinkerinde ağırlıkça %38 ile %65 arasında bir yüzdeyle temsil edilen alit, klinkerin temel bileşenidir ve saf fazının rengi beyazdır (Knöfel, 1984). Bileşik olarak 3CaO.SiO₂ olarak ifade edilirken yapısal olarak bağımsız bir (SiO₄) tetraedradır. Tetraedraya bağlı bulunan ve oktaedrik olarak oksijen atomlarıyla koordineli olan kalsiyum iyonları vardır. Oksijen atomlarından üçü Si⁺⁴ iyonlarına bağlı değildir (Kurdowski, 1991). Ayrıca yapısında çoğunlukla dayanımını arttırıcı özelliği bulunan oksitler de bulunmaktadır. MgO, Al₂O₃, Fe₂O₃ (Midgley, 1964) ve TiO₂ (Knöfel, 1984) bu oksitlere örnek olarak verilebilir.

Alit, yüksek ilk dayanım ve iyi son dayanım özelliklerine sahip olduğundan çimentoda temel dayanım kaynağı olarak yorumlanmaktadır (Knöfel, 1984).

2. Belit (Di-kalsiyum Silikat, C₂S)

Klinker içinde ağırlıkça ortalama %15 oranında mevcut bulunmaktadır (Kuleli, 2010) ve klinkerin ikinci temel fazıdır. Saf fazının rengi beyazdır (Knöfel, 1984). Belit fazı, bileşik olarak 2CaO.SiO₂ olarak ifade edilmekte ve yapısal olarak kalsiyum iyonlarıyla birlikte bağlanmış serbest SiO₄ tetraedradan oluşmaktadır (Kurdowski, 1991).

Belit fazının hidrolik bağlanma dayanımının gelişimi yavaş olmasına rağmen, çok uzun zamanlardan sonra alitle aynı son dayanıma ulaşması, dayanımdaki önemini vurgulamaktadır (Duda, 1985).

Sıvı faz

Klinkerin mineralojik yapısında bulunan ve ince kristalin tri-kalsiyum alüminat ve tetrakalsiyum alüminoferrit fazlarından oluşan matriks, ara faz ya da sıvı faz olarak tanımlanmaktadır. Matriksin sıvı faz olarak da adlandırılmasının nedeni, klinkerleşme sıcaklığında bu fazın sıvı olmasıdır. Taylor (% 5,5Al₂O₃, %3,5 Fe₂O₃, % 1,5MgO ve %1,0 K₂O'lu bir karışım için) tipik sıvı yüzdelerinin 1340°C'de %24, 1400 °C'de %26, ve 1450°C'de de %27 oranında olduğunu söylemiştir (Taylor, 1990).

1. Alüminat (Tri-kalsiyum Alüminat, C₃A)

Portland çimentosu klinkerinde ağırlıkça %7 ile %15 arasında temsil edilen tri-kalsiyum alüminat fazı, matriksi oluşturan sıvı fazın bir bileşenidir ve saf fazının rengi beyazdır (Knöfel,

1984). Bileşik olarak $3\text{CaO}\cdot\text{Al}_2\text{O}_3$ şeklinde ifade edilen trikalsiyum alüminat yapısal olarak halkalar şeklinde düzenlenmiş, altı AlO_4 grubundan oluşan $(\text{AlO}_4)^{-5}$ tetraedradan meydana gelmektedir. Bu halkalar kalsiyum iyonlarıyla karşılıklı bağlantılıdır (Kurdowski, 1991).

Trikalsiyum alüminat fazının su ile çok çabuk reaksiyona girdiği bilinmektedir. Ancak, özellikle alkali katılımıyla daha çok artan yüksek hidrolik reaktivitesine karşın güçlü hidrolik özellikler göstermez (Taylor, 1964). Silikatlarla bağlantısı çimentonun sadece ilk dayanımını arttırmaktadır. Bunun dışında, bu fazın dayanıma hiç bir etkisi yoktur (Duda, 1985).

Alüminat evresinin suyla hızlı tepkimesinin yaratacağı olumsuzlukları azaltmak için bütün çimentolara az miktarda (%2-5) sülfat (alçıtaşı = doğal kalsiyum sülfat) katılmaktadır, böylece betonun, harcın son biçimini alıncaya dek sertleşmesi/ katılaşması için geçen süre (priz süresi) denetim altına alınmaktadır. (Kuleli, 2010)

2. Ferrit (Tetrakalsiyum Alüminoferrit, C_4AF)

Portland çimentosu klinkerinde yüzde ağırlık cinsinden %4 ile %15 arasında bir oranda mevcut olan tetrakalsiyum alüminoferrit literatürde sadece ferrit fazı olarak da ifade edilmektedir (Benzer, 2003). Saf fazının rengi koyu kahve ya da grimsi yeşildir (Knöfel, 1984). Çimentoya bilinen normal rengi veren bileşendir (Kuleli, 2010).

Bileşikçe zengin bir kompozisyon çizmekte ve $4\text{CaO}(\text{Al}_2\text{O}_3, \text{Fe}_2\text{O}_3)$ şeklinde gösterilmektedir. Hidrolik reaktivitesi çok düşük olan ferrit fazı, çimentonun bağlanma özelliklerini çok az etkilediğinden dayanımda bir etkisi yoktur (Knöfel, 1984).

Minör fazlar

Klinkerin mineralojik yapısında dört temel faz dışında bazı minör fazlar da bulunabilmektedir. Bunlar, üretim koşullarına bağlı olarak birleşmemiş ya da geriye kalan eriyikle farklı bileşikler oluşturmuş fazlardır. Bu fazlar serbest kireç, periklaz, alkali sülfatlar, cam benzer fazlar ve karışımlardır

1. Serbest kireç (CaO)

Portland çimentosu klinkerinde serbest kireç çoğunlukla ağırlıkça %2'ye kadar temsil edilmektedir (Duda, 1985) ve homojen olmayan harmanlama, iri kalsit kristalleri, tamamlanmamış sinterleşme, yüksek kireç içeriği ya da çok düşük soğuma hızından kaynaklanmaktadır. Ancak bazen alitin bozunması nedeniyle sekonder serbest kireçler de gözlenebilmektedir (Kurdowski, 1991)

2. Periklaz (MgO)

MgO yönünden zengin klinkerlerdeki bu fazlalık, periklaz olarak adlandırılan serbest MgO'in oluşumuna nedendir ve toplam periklaz içeriği farklı fazlardaki magnezyum içerikleri ile doğru orantılıdır (Juel ve Jøns, 2001).

Standartlara göre bir çimentonun %2,5 ile %3 arasında periklaz ve %2 ile %2,5 arasında da birleşik MgO içermesi gerekmektedir. Ancak üretim koşulları serbest ve birleşik MgO oranlarında bazı sapmalara yol açabilmektedir (Knöfel, 1984). Periklazın belirtilen yüzdelerin üzerinde olması veya büyük kristaller halinde bulunması çimentoda magnezyum genişlemesine dolayısı ile de çatlaklara neden olmaktadır (Duda, 1985). Midgley (1964)'e göre bu zararlı etkiler hızlı soğutma ile engellenebilmektedir.

3. Alkali sülfatlar

Portland çimentosu üretiminde kullanılan klinker, küçük miktarlarda sülfat ve sülfid içerebilirler. Bununla birlikte, kullanılan yakıtta da sülfür bileşikleri mevcuttur. Bu nedenle, fırında klinkerleşme sıcaklığında SO₃ üretilmektedir. Bu SO₃ ya hammaddeden ya da yakıttan gelen alkalilerle birleşerek alkali sülfatları oluşturmaktadır (Duda, 1985).

4. Cam benzeri fazlar

Genel düşünce endüstriyel klinkerlerde cam içeriğinin çok sınırlı olduğunu ifade etmektedir. Fakat Reourd X ışını incelemesi ile camın varlığını ortaya koymuştur (Kurdowski, 1991).

5. Karışımlar

Kurdowski (1991) klinkerlerde minör faz olarak bulunabilen bileşiklerden en yaygın olanını TiO₂ olarak açıklamıştır. Bunun dışında Cr₂O₃, alinit, monobaryum alüminat (Kurdowski, 1991), Mn₂O₃ (Parker, 1952), C₃P (Midgley, 1964) bulunmaktadır.

Deneysel Çalışmalar, Sonuçları ve Değerlendirmeler

Bu kısımda sunular sonuçlar TÇMB Ar-Ge Laboratuvarı ile işbirliği ve karşılıklı değerlendirmeler çerçevesinde önce Ankara Tatlar atıksu arıtma tesisi çamurları için yapılmıştır. Çalışmanın başlangıcında çamurun çimentoya ekleneceği doğru oranın belirlenebilmesi için pişebilirlik deneylerinin belli bir aralıkta yapılması kararlaştırıldı. Bu kapsamda literatür değerlendirmeleri, ve TÇMB ile görüşmeler çerçevesinde %1 ile %7,5 arasında olan 4 farklı oranın denenmesi ve sonuçların değerlendirilmesi kararlaştırıldı. Raporun bu kısmında bu pişebilirlik çalışmasının sonuçları verilmekte ve değerlendirmeler

yapılmaktadır. Daha sonraki bölümde ise İzmir Çiğli atıksu arıtma tesisi ve İzmit Karma çamurları için yapılan benzer çalışmanın sonuçları verilmektedir.

Ankara Tatlar Atıksu Arıtma Tesisi Çamurlarının Pişebilirliğinin Değerlendirmesi

Analizlerde TCMB tarafından sağlanan referans farin ile bir adet kömür numunesi ve Ankara AAT arıtma çamuru numuneleri kullanılmıştır. Pişme testi kapsamında numuneler üzerinde aşağıda belirtilen çalışmalar yürütülmüştür.

Öncelikle hammadde (referans farin ve arıtma çamuru) numunelerinin analizleri tamamlanmıştır. Bu analizler:

1. Komple kimyasal analiz
2. Mineralojik analiz
3. Tane boyu dağılımı analizlerini kapsamaktadır.

Ayrıca kullanılacak kömür numunesinde aşağıdaki analizler yapılmıştır:

1. Komple kömür analizi
2. Kömür külü kimyasal analizi

Son olarak arıtma çamuru numunesinin referans farin kullanılarak oluşturulan farklı oranlardaki karışım numunelerinde tane boyu dağılımı analizi yapılmıştır.

Daha sonra karışım numunelerinin kömürle karıştırılarak hazırlanan “fırın besleme numuneleri”nde pişebilirlik incelemesi yapılmıştır. Oluşturulan fırın besleme numunelerinden pişme programı uygulanmak suretiyle klinkerizasyon yapılarak elde edilen “klinker” numunelerinde ise kimyasal analiz ve mineralojik analiz yapılmıştır.

Hammadde Kimyasal Analiz Sonuçları

Referans farin ve arıtma çamuru (kuru numune) numunelerinin kimyasal analizleri TS EN 196-2, Spectro Xepos marka ED-XRF ve Spectro marka ICP-OES metodu/ yöntemi/ cihazı kullanılarak yapılmış ve sonuçlar Tablo 11.27’de belirtilmiştir.

Tablo 11.27: Referans Farin ve Arıtma Çamuru Numunelerinin Kuru Bazda Kimyasal Analiz Sonuçları

% Kimyasal Bileşen	Referans Farin Numunesi	Ankara Tatlar AAT Çamur Numunesi
Metod	ED- XRF / ICP-OES	XRF
Kızdırma Kaybı	35,24	46,76
SiO ₂	13,42	21,26
Al ₂ O ₃	3,58	5,83
Fe ₂ O ₃	2,15	3,36
CaO	43,58	11,90
MgO	1,27	1,56
SO ₃	0,11	3,6
Na ₂ O	0,16	0,08
K ₂ O	0,43	0,87
TiO ₂	0,18	0,56
Cr ₂ O ₃	0,024	0,05
Mn ₂ O ₃	0,03	-
P ₂ O ₅	0,07	3,90
MnO	-	0,10
V ₂ O ₅	-	0,02
Cl	0,0216	0,07
LSF	100,88	17,35
SİM	2,34	2,31
ALM	1,67	1,74

Hammadde Mineralojik Analiz Sonuçları

X-Işınları Biriminde PANalytical (Philips) Marka X'Pert MPD Model XRD cihazı kullanılarak Referans Farin, Arıtma Çamuru ve Kömür Külü numunelerinin difraktogramları çekilmiş, mineralojik analizleri yapılmıştır. Elde edilen XRD difraktogramları Şekil 11.39 - Şekil 11.43'de verilmiştir.

Ayrıca, kalsit içeriği baskın olan referans farin ve arıtma çamuru numunelerinde derişik HCl ile muamele edilerek eliminasyon işlemleri uygulanmış, kalsit minerali çözülerek ortamdan uzaklaştırılmış ve baskılanan diğer fazlar ortaya çıkartılmıştır. Böylece orijinal numunenin difraktogram çekiminde kalsitin baskıladığı fazların spesifik olarak tanımlanması sağlanmıştır.

Referans Farin:

Kalsit (CaCO₃), Kuvars (SiO₂), Dolomit [CaMg(CO₃)₂], Kil Minerali (Şekil 11.39)

Referans Farin (Eliminasyonlu):

Kuars (SiO₂), Albit [(Na,Ca)Al(Si,Al)₃O₈], Hematit (Fe₂O₃), İllit [(K,H₃O)Al₂Si₃AlO₁₀(OH)₂] (Şekil 11.40)

Kömür Külü :

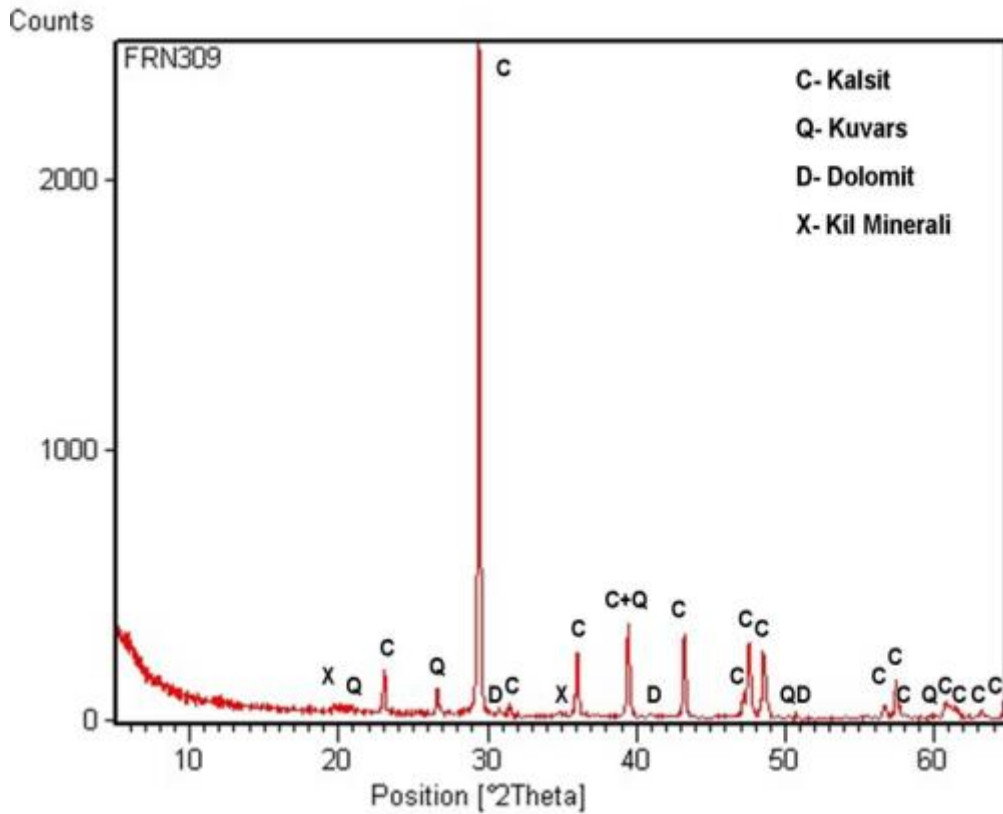
Kuars (SiO₂), Hematit (Fe₂O₃), Anhidrit (CaSO₄), Muskovit [(K,Na)Al₂(Si,Al)₄O₁₀(OH)₂] (Şekil 11.41)

Arıtma Çamuru- Ankara :

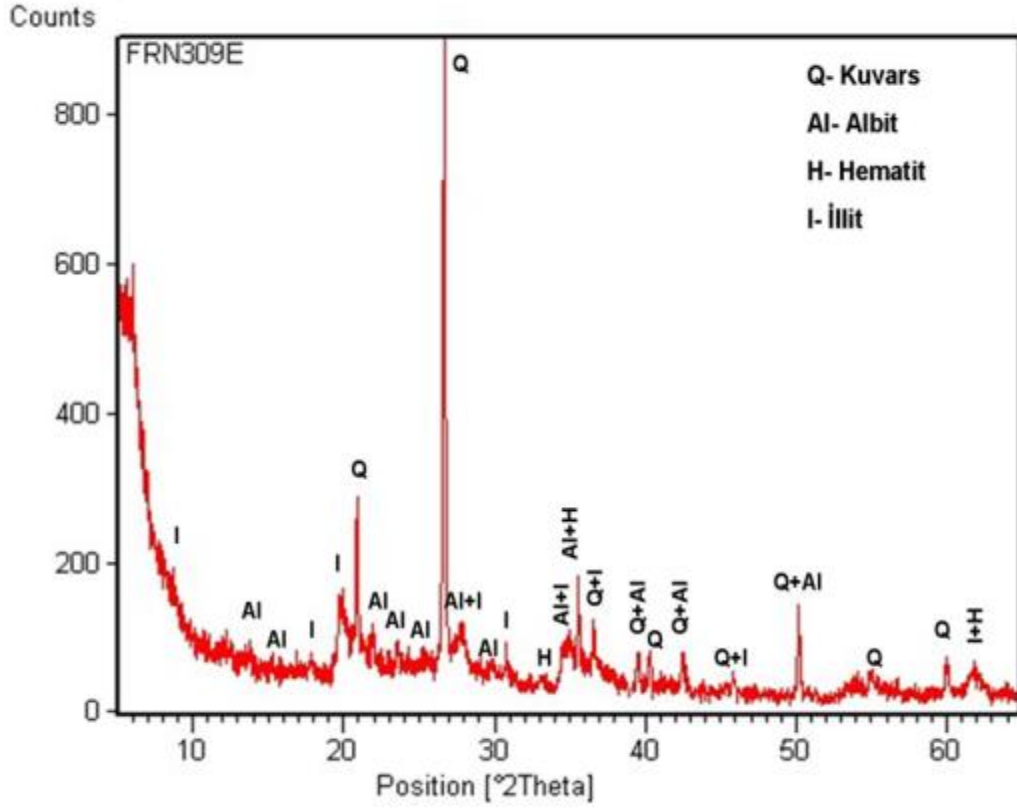
Kalsit (CaCO₃), Kuvars (SiO₂), Albit [(Na,Ca)Al(Si,Al)₃O₈], Kil Minerali, Camsı Faz (Şekil 11.42)

Arıtma Çamuru – Ankara (Eliminasyonlu):

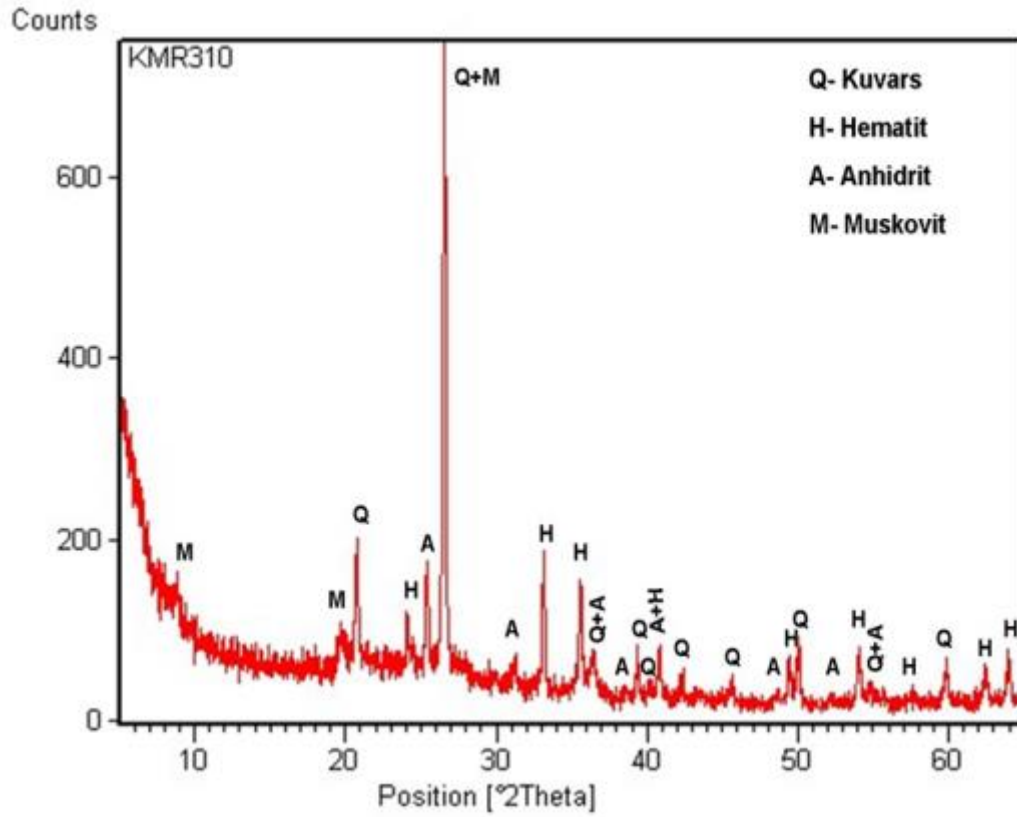
Kuars (SiO₂), Albit [(Na,Ca)Al(Si,Al)₃O₈], Muskovit [(K,Na)Al₂(Si,Al)₄O₁₀(OH)₂], Klorit [(Mg,Al,Fe)₆(Si,Al)₄O₁₀(OH)₈], Camsı Faz (Şekil 11.43)



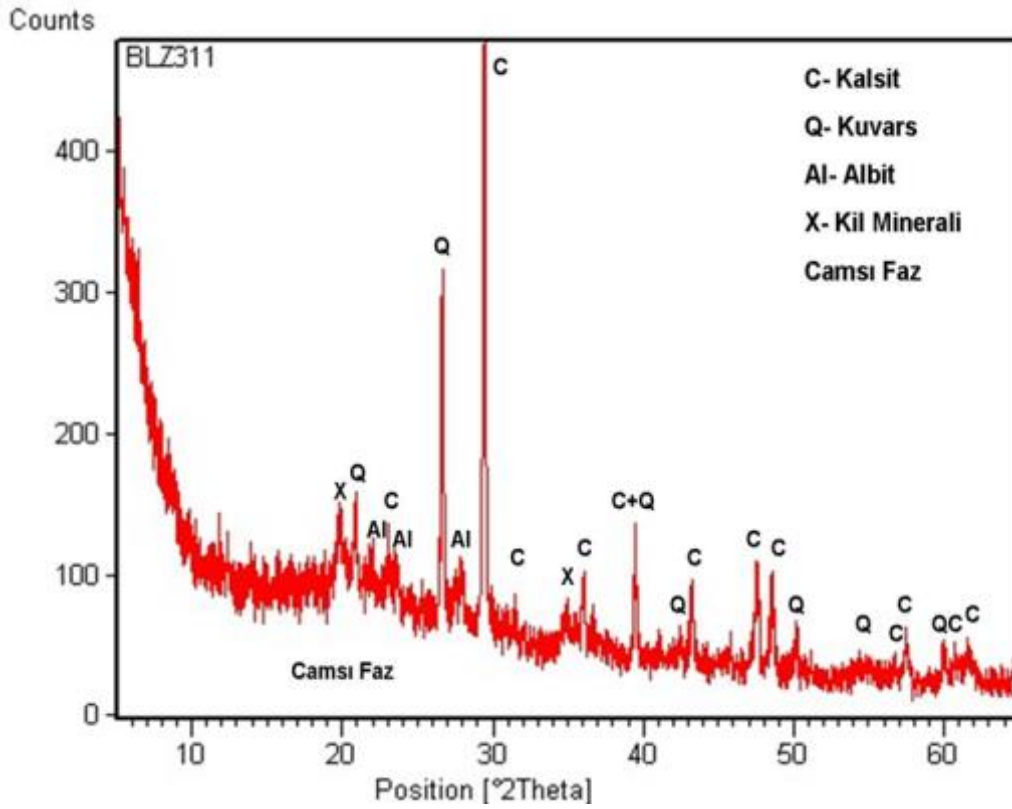
Şekil 11.39: Referans Farin Numunesinin XRD Grafiği



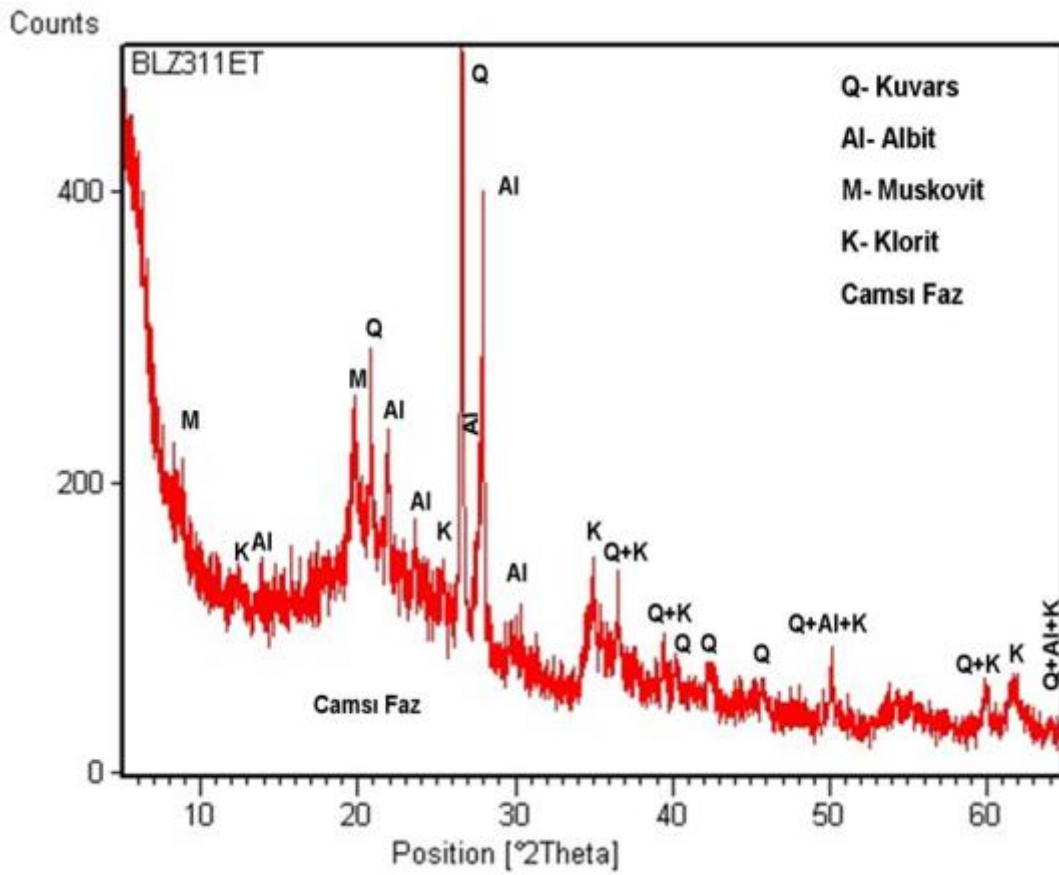
Şekil 11.40: Referans Farin Numunesinin (eliminasyonlu) XRD Grafiği



Şekil 11.41: Kömür Külünün XRD Grafiği



Şekil 11.42: Ankara AAT Çamuru Numunesinin XRD Grafiği



Şekil 11.43: Ankara AAT Çamuru Numunesinin (eliminasyonlu) XRD Grafiği

Hammadde Tane Boyu Dağılımı Sonuçları

Malvern Mastersizer 2000 marka PSD cihazında referans farin numunesinin ön inceleme amaçlı olarak tane boyu dağılımı belirlenmiştir. Histogram Şekil 11.44’de verilmiştir. Farin için yapılan elek analizi sonuçları da Tablo 11.28’deki gibidir.

Tablo 11.28: Referans Farin Numunesinde Elek Analizi Sonuçları

	90µ (%) Bakiye	45 µ (%) Bakiye
Referans Farin Numunesi	14,2	23,2

Yakıt Analizleri Sonuçları

Kömür Analizi

Kömür analizleri ASTM D 3173, ASTM D 3174, ASTM D 3175, ASTM D 4239, ISO 1928 standardlarına göre yapılmıştır. Kömür analizi sonuçları Tablo 11.29’da sunulmuştur.

Tablo 11.29: Kömür Analizi Sonuçları

Kömür (fırına verilen)	Kuru	Havada Kuru
Kaba Rutubet (%)	-	-
Higroskopik Rutubet (%)	-	0,78
Uçucu Madde (%)	23,23	23,05
Kül (%)	8,07	8,01
Toplam Kükürt (%)	2,79	2,77
Hidrojen (%)	4,28	4,24
Üst Kalori (cal/gr)	7628	7569
Alt Kalori (cal/gr)	7418	7355

Not: Hidrojen Değeri, ISO 1928 standardına göre hesaplanmıştır.

Kömür Külü Analizi

Kömür külü analizleri Spectro marka ICP-OES cihazı kullanılarak gerçekleştirilmiştir. Analiz sonuçları Tablo 11.30’da sunulmuştur.

Tablo 11.30: Kömür Külü Analizi Sonuçları

% Kimyasal Bileşen	Kömür Külü Numunesi
Metod	ICP – OES
Kızdırma Kaybı	2,82
SiO ₂	48,46
Al ₂ O ₃	18,82
Fe ₂ O ₃	12,17
CaO	3,54
MgO	3,41

Tablo 11.30 (devam): Kömür Külü Analizi Sonuçları

% Kimyasal Bileşen	Kömür Külü Numunesi
SO ₃	3,69
Na ₂ O	0,20
K ₂ O	1,42
TiO ₂	1,09
Cr ₂ O ₃	0,18
Mn ₂ O ₃	0,12
P ₂ O ₅	0,27
SİM	1,56
ALM	1,55

Karışım Numuneleri Analizleri ve Sonuçlar

Karışım Numuneleri Tanımlamaları ve Oranları

Referans farin ve arıtma çamuru numuneleri ile hazırlanan karışımların tanımları ve oranları Tablo 11.31’de verilmiştir.

Tablo 11.31: Referans Farin ve Arıtma Çamuru Numuneleri ile Hazırlanan Karışımların Tanımları ve Oranları

Karışım Tanımları	Karışım Oranları
Referans Farin	% 100,0 Referans Farin
Karışım 1	%99,0 Referans Farin+ %1,0 Ankara Arıtma Çamuru
Karışım 2	%97,5 Referans Farin+ %2,5 Ankara Arıtma Çamuru
Karışım 3	%95,0 Referans Farin+ %5,0 Ankara Arıtma Çamuru
Karışım 4	%92,5 Referans Farin+ %7,5 Ankara Arıtma Çamuru

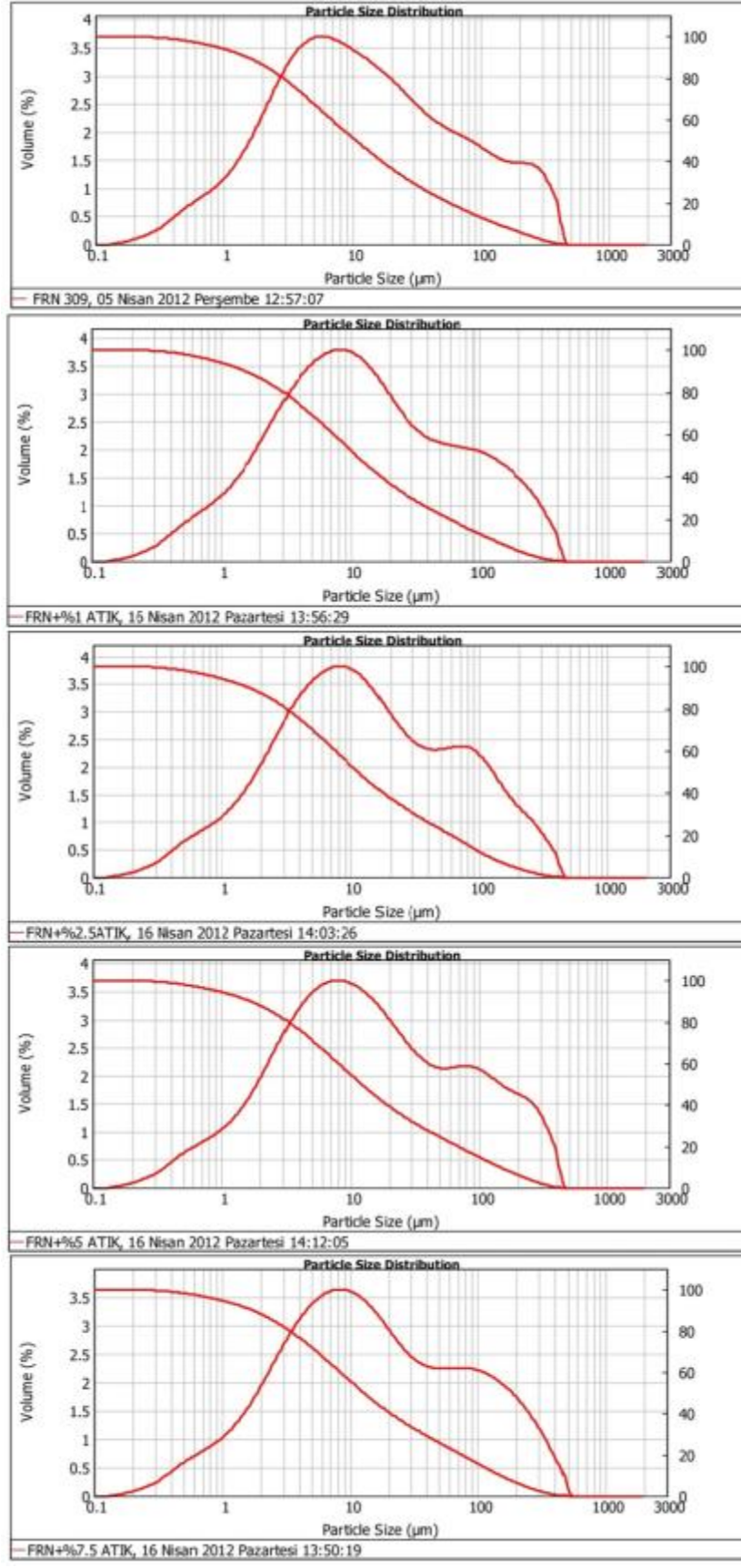
Tane Boyu Dağılımı

Referans Farin’e ek olarak karışım numunelerinde gerçekleştirilen elek analizi sonuçları Tablo 11.32’de sunulduğu gibidir.

Tablo 11.32: Karışım Numunelerinde Elek Analizi Sonuçları

Karışım Numuneleri	90µ (%) Bakiye	45 µ (%) Bakiye
Referans Farin Numunesi	14,2	23,2
Karışım 1	14,3	23,7
Karışım 2	13,6	24,2
Karışım 3	16,3	26,0
Karışım 4	17,2	27,4

Parçacık boyutu dağılımına ait histogramlar Şekil 11.44’de verilmiştir.



Şekil 11.44: Ankara Çamuru için Kullanılan Farin ve Farin/Çamur Karışımlarının Parçacık Boyutu Analizi (**a.** farin, **b.** farin+%1 çamur, **c.** farin+%2,5 çamur, **d.** farin+%5 çamur, **e.** farin+%7,5 çamur)

Fırın Besleme Numunelerinde Pişebilirlik İncelemesi

Pişebilirlik incelemesi Protherm marka 1600°C Elektrikli Laboratuvar Fırınında gerçekleştirilmiştir. Referans farin ve hazırlanan karışımlara, 850 (kcal/ kg klinker) pişme kalorisi esas alınarak kömür analizine göre %7,2 kömür ilave edilmiştir. Pişebilirlik incelemesi için oluşturulan kömür ilaveli fırın beslemeler 1300-1350-1400 ve 1450°C sıcaklıklarda programlı ısıtmaya tabi tutulmuşlardır.

Klinker Kimyasal Analizleri ve Sonuçları

Elde edilen klinker numunelerinde kimyasal analiz TS EN 196-2, Spectro Xepos marka ED-XRF cihazı kullanılarak yapılmış ve sonuçlar Tablo 11.33'de belirtilmiştir. Referans klinker hiç çamur içermezken, klinker 1 %1, klinker 2 %2,5, klinker 3 %5, klinker 4 ise %7,5 oranında arıtma çamuru içermektedirler.

Tablo 11.33: Klinkerizasyon (1450 °C) Sonrası Elde Edilen Klinker Numunelerinin Kimyasal Analiz Sonuçları

% Kimyasal Bileşen	Referans Klinker	Klinker 1	Klinker 2	Klinker 3	Klinker 4
K.Kayıbı	< 0,01	0,46	0,43	< 0,01	0,26
SiO ₂	20,82	21,10	21,67	21,86	22,50
Al ₂ O ₃	5,43	5,48	5,54	5,63	5,89
Fe ₂ O ₃	3,26	3,30	3,34	3,38	3,50
CaO	65,60	65,81	65,15	64,38	63,16
MgO	1,92	1,98	1,98	2,00	2,11
SO ₃	0,62	0,54	0,55	0,62	0,67
K ₂ O	0,64	0,56	0,51	0,57	0,55
S.CaO	1,93	0,96	0,46	0,44	0,34
LSF	98,17	97,22	93,90	91,91	87,45
SİM	2,40	2,40	2,44	2,43	2,40
ALM	1,67	1,66	1,66	1,67	1,68
C ₃ S	59,83	62,11	56,67	51,51	40,17
C ₂ S	14,56	13,64	19,38	23,81	34,21
C ₃ A	8,87	8,94	9,03	9,20	9,69
C ₄ AF	9,92	10,04	10,16	10,29	10,65
Likit Faz	25,91	26,13	26,35	26,78	27,91

Klinkerizasyon sırasında beş kritik sıcaklıkta S. CaO oranları ölçülmüştür. Sonuçlar Tablo 11.34'de verilmiştir.

Tablo 11.34: Klinkerizasyon Sırasında Numunelerin S.CaO Değerlerinin Sıcaklıkla Değişimi

% S. CaO miktarı	1300°C	1350°C	1400°C	1450°C
Referans Farin Numunesi	8,71	4,73	2,82	1,93
Karışım 1	6,99	4,02	1,61	0,94
Karışım 2	6,13	2,96	0,85	0,46
Karışım 3	4,72	1,54	0,52	0,44
Karışım 4	2,57	0,92	0,37	0,34

Klinker Mineralojik Analizleri ve Sonuçları

X- Işınları Biriminde fırın beslemelerin klinkerizasyonu sonrasında elde edilen klinker numunelerinde mineralojik yapı incelenmiş, aşağıdaki faz oluşumları gözlenmiştir:

Referans Klinker:

Alit (C₃S), Belit (C₂S), Alüminat (C₃A), Ferrit (C₄AF) (Şekil 11.32)

Klinker 1:

Alit (C₃S), Belit (C₂S), Alüminat (C₃A), Ferrit (C₄AF) (Şekil 11.33)

Klinker 2:

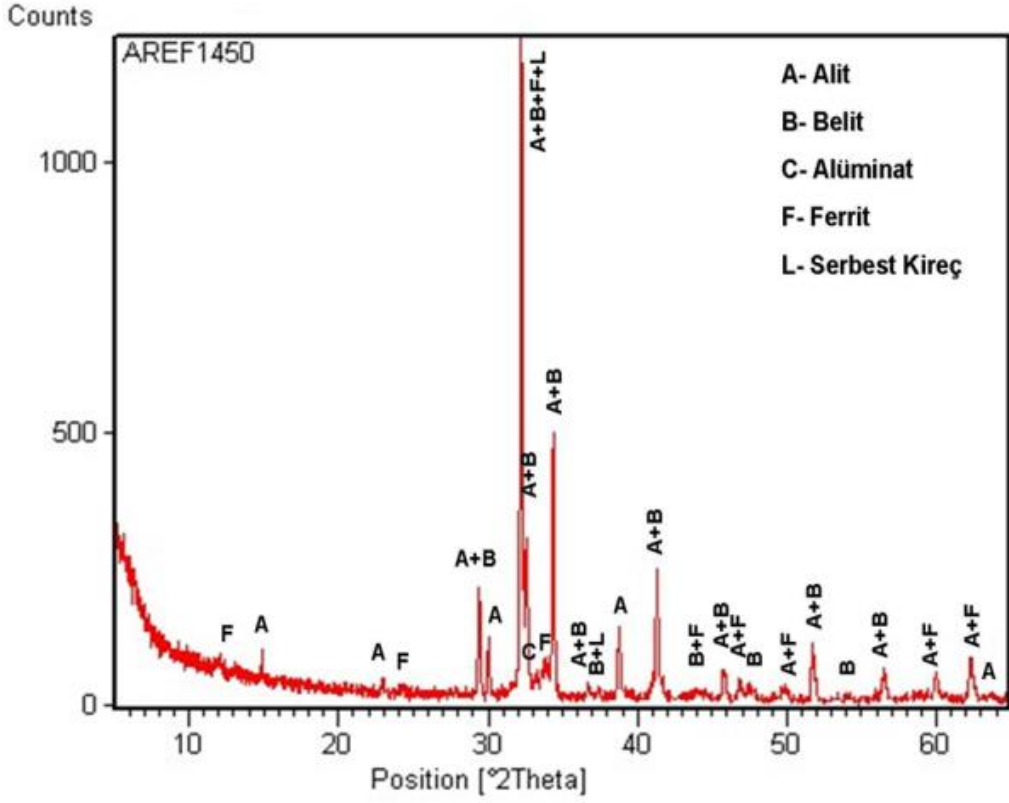
Alit (C₃S), Belit (C₂S), Alüminat (C₃A), Ferrit (C₄AF) (Şekil 11.34)

Klinker 3:

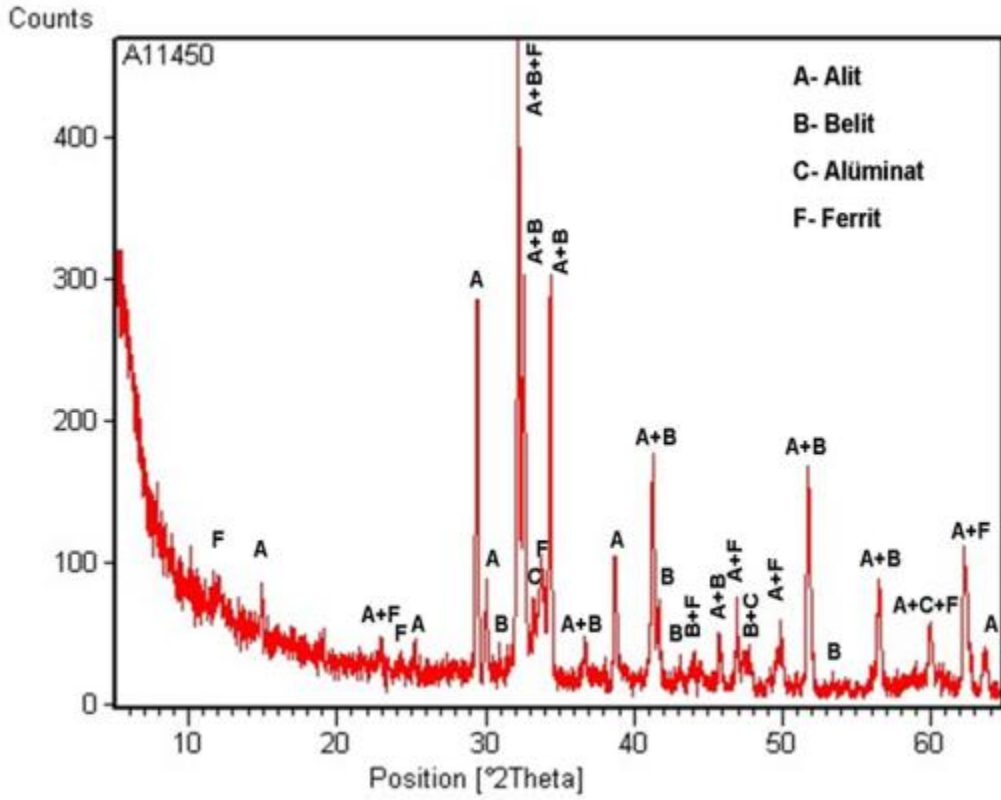
Alit (C₃S), Belit (C₂S), Alüminat (C₃A), Ferrit (C₄AF) (Şekil 11.35)

Klinker 4:

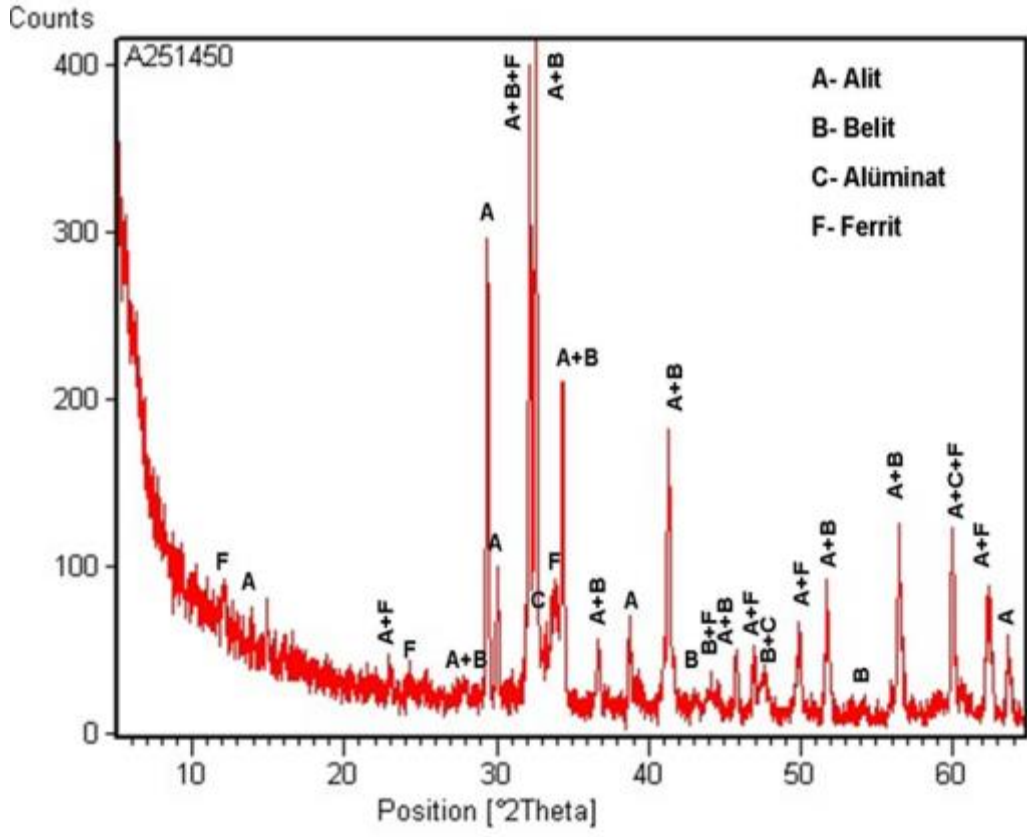
Alit (C₃S), Belit (C₂S), Alüminat (C₃A), Ferrit (C₄AF) (Şekil 11.36)



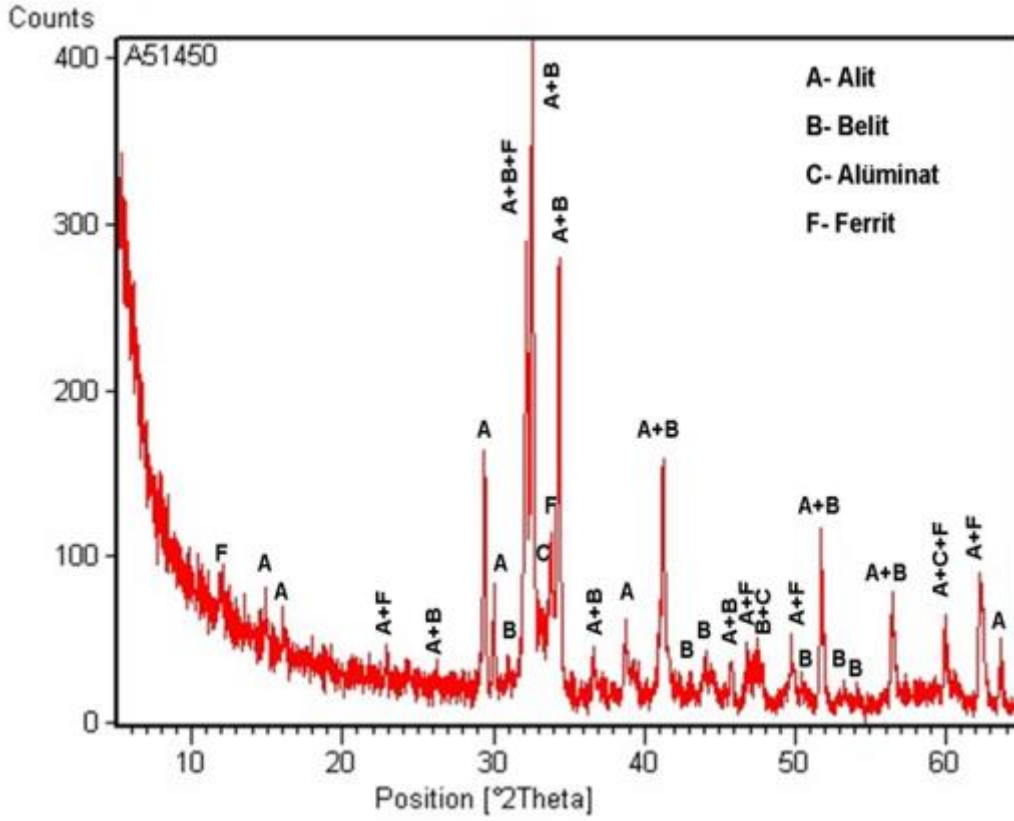
Şekil 11.45: Referans Klinkerin XRD Grafiği



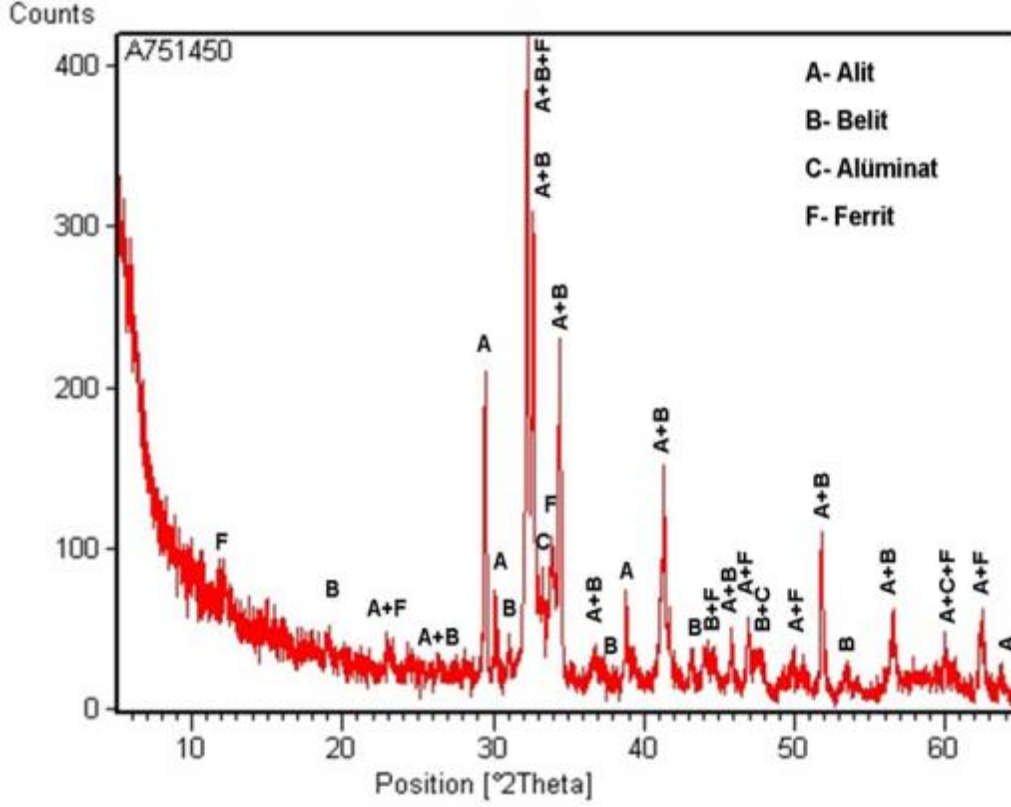
Şekil 11.46: Farin ve %1 Ankara AAT Çamuru Karışımından Oluşan Klinkerin XRD Grafiği



Şekil 11.47: Farin ve %2,5 Ankara AAT çamuru karışımından oluşan klinkerin XRD grafiği



Şekil 11.48: Farin ve %5 Ankara AAT Çamuru Karışımından Oluşan Klinkerin XRD Grafiği



Şekil 11.49: Farin ve %7,5 Ankara AAT Çamuru Karışımından Oluşan Klinkerin XRD Grafiği

Ankara AAT Çamurları için Sonuçların Değerlendirmesi

Referans Farin numunesinin mineralojik yapısında iyi pişen kil minerali illit ile pişme gücüne neden olan kalsit, kuvars ve feldispat (albit) bulunmaktadır. Buna karşılık, hematitin sıvı faz miktarında artışa yol açacağı düşünülmektedir.

Ankara atıksu arıtma tesisi çamuru numunesinde ise mineralojik kompozisyonu pişme gücüne yol açan kalsit, kuvars, feldispat (albit) kristalleri ile pişebilirliği olumlu etkileyen klorit ve muskovit kristallerinin oluşturduğu tespit edilmiştir. Ayrıca, numunenin kristal yapının yanısıra camsı faz içerdiği de görülmüştür. Bununla birlikte numuneden kimyasal olarak yüksek miktarda (%3,90) P_2O_5 saptanmıştır.

Literatürde %0,5'den az P_2O_5 'in klinkerde olumsuz etkisinin gözlemlenmediği bilgisi mevcuttur. Buna göre, %0,5'den çok P_2O_5 ise pişirmeyi olumsuz etkilemektedir, dolayısı ile serbest kireci arttırmakta, ürünün erken dayanımını azaltmakta, priz süresini geciktirmektedir. Atıkların yakıt ya da ikincil hammadde olarak kullanımları arttıkça fosfordan kaynaklanan ürün sorunları da (koyu renk noktaların belirmesi gibi) artmıştır.

Pişebilirliğin mukayese edilmesi, böylece de Ankara AAT çamuru numunesinin klinker üretiminde hammadde olarak etkisinin karşılaştırılabilmesi amacıyla referans farin ve %1,0, 2,5, 5,0 ve 7,5 oranında arıtma çamuru numunesi ikame edilen karışımlar hazırlanmıştır. Referans farin ve hazırlanan karışımlara, 850 (kcal/ kg klinker) pişme kalorisi ve kömür analizi esas alınarak %7,2 kömür ilave edilmiştir.

Referans farin ve hazırlanan karışımlar pişebilirlik incelemesi için 1300-1350-1400 ve 1450°C sıcaklıklarda programlı ısıtmaya tabi tutulmuştur. Oluşturulan klinkerlerin, mineralojik analizleri yapılmış ve temel klinker fazlarının oluştuğu görülmüştür. 1450 °C’de oluşturulan klinkerlerde sırası ile S.CaO değerlerinin %1,93, %0,96, %0,46, %0,44 ve %0,34 olması (% S.CaO > 2,00) farinlerin normal pişme karakterine sahip olduğunu göstermiştir.

Katılan arıtma çamuru miktarı arttıkça serbest kireç oluşumunun düşmesini (Tablo 11.34), malzemelerin yapısına bağlı olarak LSF değerinin azalması açıklamaktadır. Bununla birlikte LSF’in azalmasına bağlı olarak oluşturulan klinker numunelerinde kalite açısından önemli parametrelerden olan C₃S fazının da düştüğü gözlenmektedir. Karışımların incelikleri de pişmede önemli bir parametredir, atık miktarı ile paralel artış göstermesine rağmen beklenen olumsuz etki gözlenmemiştir. Ayrıca likit faz miktarında artış dikkati çekmektedir, bu da döner fırın reaksiyonları açısından (anzast oluşumu vb.) önem taşımaktadır.

Tablo 11.35: Ankara Arıtma Çamuru Kalite Parametreleri Karşılaştırma Tablosu

%	Referans Farin	Karışım 1	Karışım 2	Karışım 3	Karışım 4
S.CaO	1,93	0,96	0,46	0,44	0,34
LSF	98,17	97,22	93,90	91,91	87,45
C ₃ S	59,83	62,11	56,67	51,51	40,17
C ₂ S	14,56	13,64	19,38	23,81	34,21
Likit Faz	25,91	26,13	26,35	26,78	27,91

İzmir Çiğli Atıksu Arıtma Tesisi Çamurlarının Pişebilirliğinin Değerlendirmesi

Hammadde Kimyasal Analiz Sonuçları

Referans Farin ve İzmir Çiğli Arıtma Çamuru numunelerinin kimyasal analizleri benzer şekilde TS EN 196-2, Spectro Xepos marka ED-XRF ve Spectro marka ICP-OES metodu/ yöntemi/ cihazı kullanılarak yapılmış ve sonuçlar Tablo 11.36’de belirtilmiştir.

Tablo 11.36: Referans Farin ve Arıtma Çamuru Numunelerinin Kuru Bazda Kimyasal Analiz Sonuçları

% Kimyasal Bileşen	Referans Farin Numunesi	İzmir Çiğli AAT Çamur Numunesi
Metod	ED- XRF / ICP-OES	XRF
Kızdırma Kaybı	35,24	76,49
SiO ₂	13,42	5,42
Al ₂ O ₃	3,58	1,43
Fe ₂ O ₃	2,15	1,35
CaO	43,58	5,33
MgO	1,27	1,00
SO ₃	0,11	2,99
Na ₂ O	0,16	0,90
K ₂ O	0,43	0,77
TiO ₂	0,18	0,26
Cr ₂ O ₃	0,024	0,03
MnO	-	0,07
Mn ₂ O ₃	0,03	-
P ₂ O ₅	0,07	2,51
V ₂ O ₅	-	0,01
Cl	0,0216	1,05
LSF	100,88	30,04
SİM	2,34	1,95
ALM	1,67	1,06

Hammadde Mineralojik Analiz Sonuçları

X-Işınları Biriminde PANalytical (Philips) Marka X'Pert MPD Model XRD cihazı kullanılarak Referans Farin, Arıtma Çamuru ve Kömür Külü numunelerinin difraktogramları çekilmiş, mineralojik analizleri yapılmıştır. Elde edilen XRD difraktogramları Şekil 11.50-Şekil 11.54'de verilmiştir.

Ankara çamurundakine benzer şekilde kalsit içeriği baskın olan referans farin ve İzmir arıtma çamuru numunelerinde derişik HCl ile muamele edilerek eliminasyon işlemi uygulanmış, kalsit minerali çözümlenerek ortamdan uzaklaştırılmış ve baskılanan diğer fazlar ortaya çıkartılmıştır. Böylece orijinal numunenin difraktogram çekiminde kalsitin baskıladığı fazların spesifik olarak tanımlanması sağlanmıştır.

Referans Farin:

Kalsit (CaCO₃), Kuvars (SiO₂), Dolomit [CaMg(CO₃)₂], Kil Minerali (Şekil 11.37)

Referans Farin (Eliminasyonlu):

Kuvars (SiO₂), Albit [(Na,Ca)Al(Si,Al)₃O₈], Hematit (Fe₂O₃), İllit [(K,H₃O)Al₂Si₃AlO₁₀(OH)₂] (Şekil 11.38)

Kömür Külü :

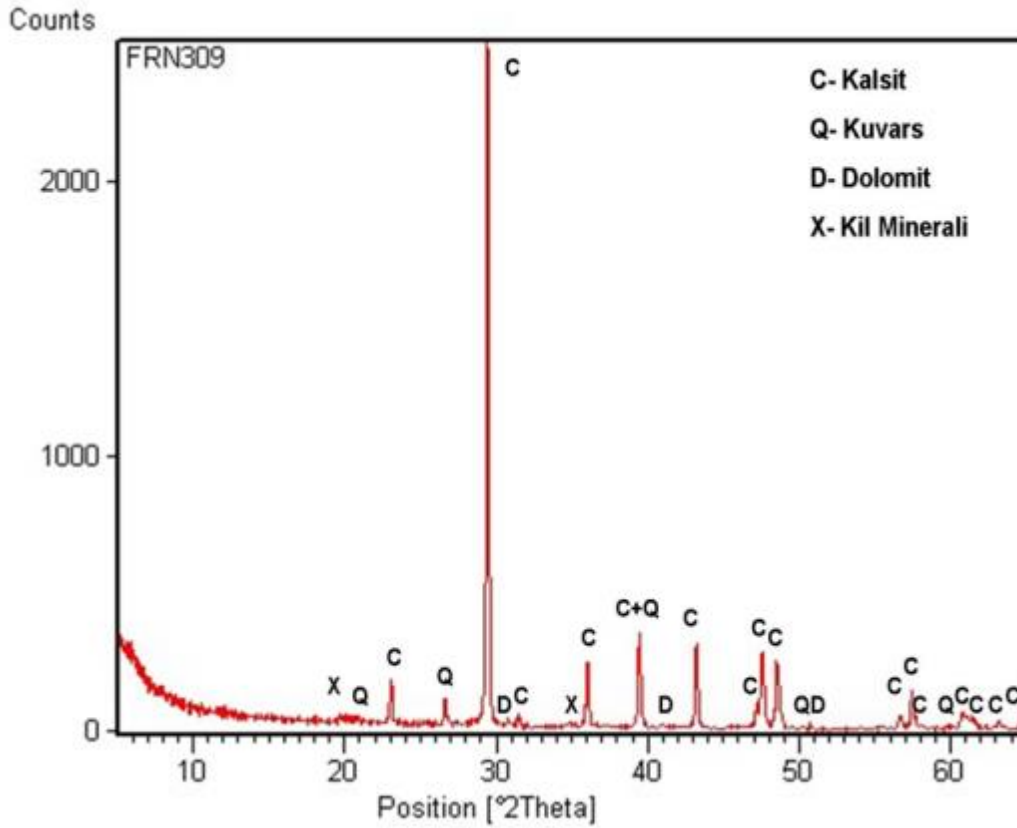
Kuars (SiO₂), Hematit (Fe₂O₃), Anhidrit (CaSO₄), Muskovit [(K,Na)Al₂(Si,Al)₄O₁₀(OH)₂] (Şekil 11.39)

İzmir Çiğli Arıtma Çamuru:

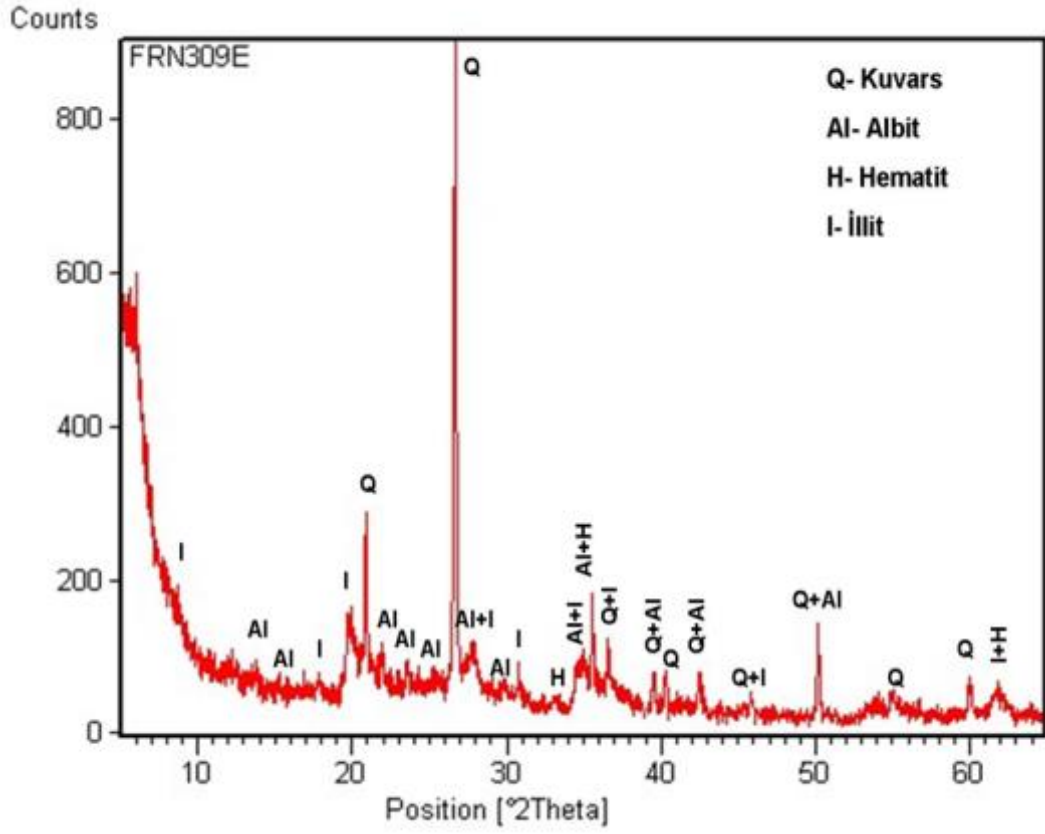
Kalsit (CaCO₃), Kuvars (SiO₂), Albit [(Na,Ca)Al(Si,Al)₃O₈], Kil Minerali, Camsı Faz (Şekil 11.40)

İzmir Çiğli Arıtma Çamuru (Eliminasyonlu):

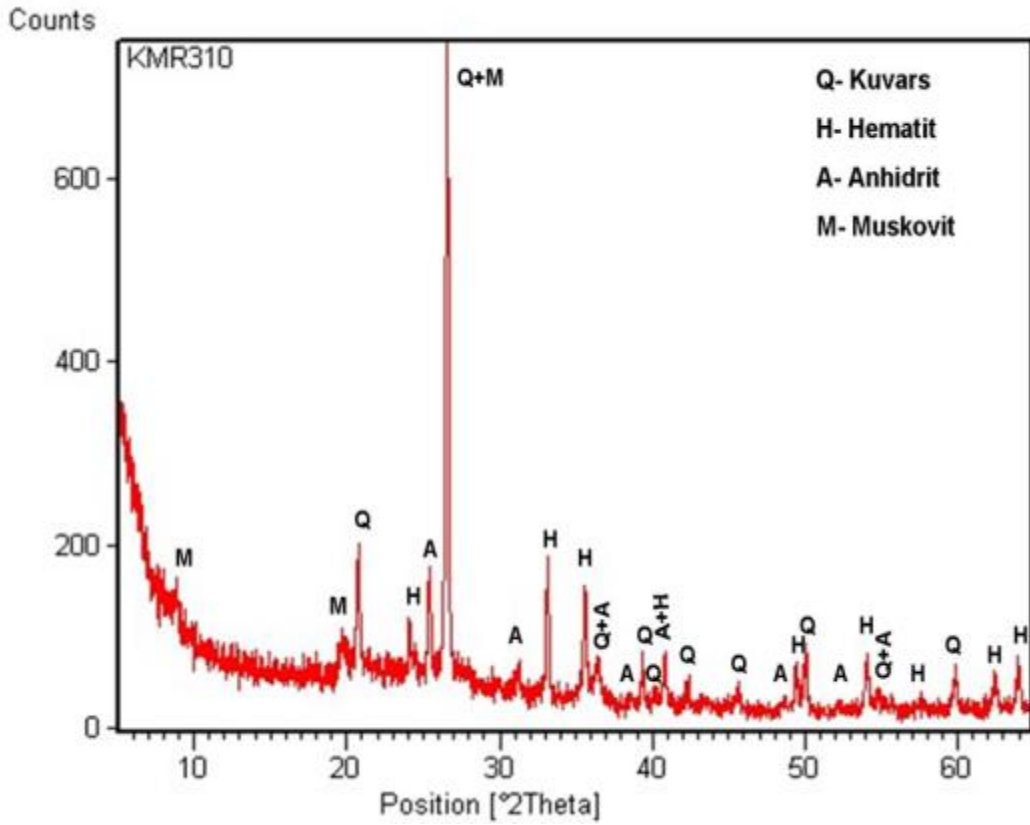
n- Parafin [(CH₂)_x], Kuvars (SiO₂), Kil Minerali, Feldispat [(K,Na)AlSi₃O₈], Camsı Faz (Şekil 11.41)



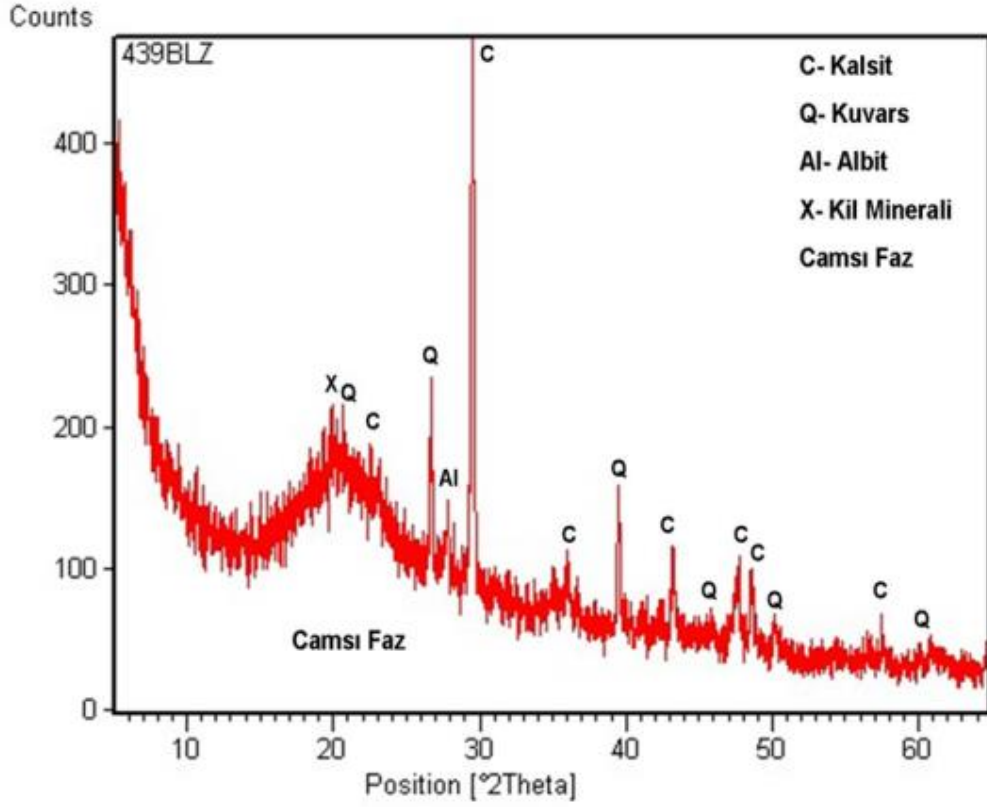
Şekil 11.50: Referans Farinin XRD Grafiği



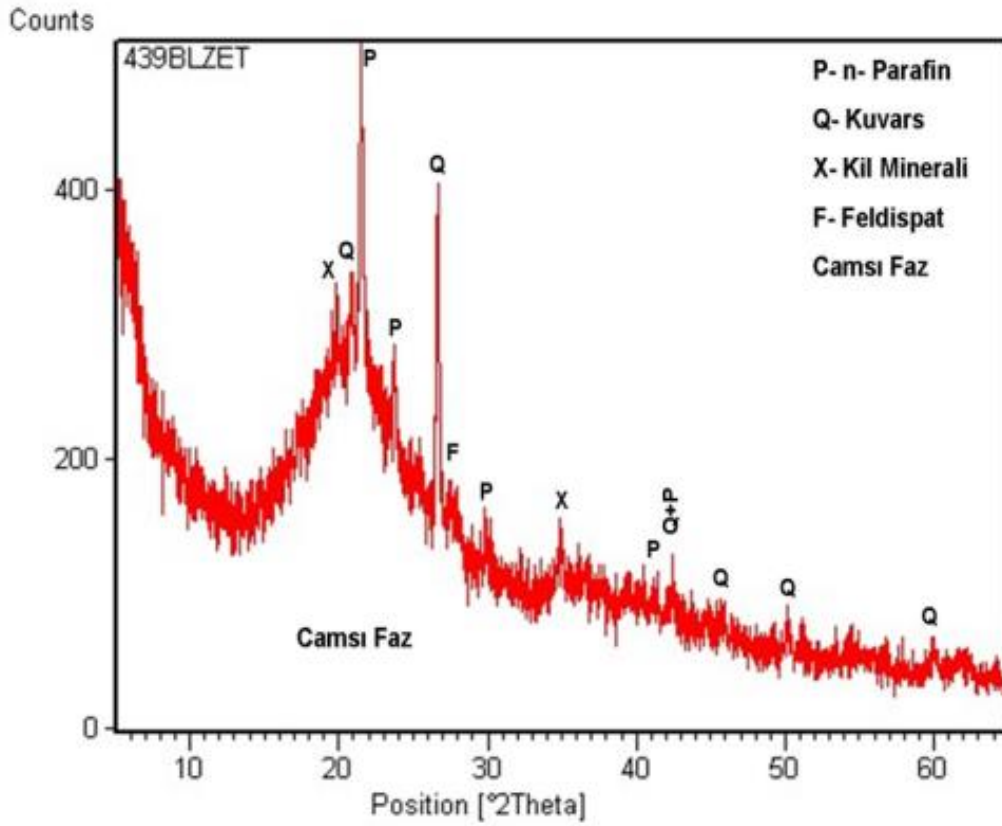
Şekil 11.51: Referans Farin Numunesinin (eliminasyonlu) XRD Grafiği



Şekil 11.52: Kömür Külünün XRD Grafiği



Şekil 11.53: İzmir AAT Çamur Numunesinin XRD Grafiği



Şekil 11.54: İzmir AAT Çamur Numunesinin (eliminasyonlu) XRD Grafiği

Hammadde Tane Boyu Dağılımı Sonuçları

Malvern Mastersizer 2000 marka PSD cihazında Referans Farin numunesinin ön inceleme amaçlı olarak tane boyu dağılımı belirlenmiştir. Histogram Şekil 11.55’de verilmiştir. Farin için yapılan elek analizi sonuçları da Tablo 11.37’deki gibidir.

Tablo 11.37: Referans Farin Numunesinde Elek Analizi Sonuçları

	90μ (%) Bakiye	45 μ (%) Bakiye
Referans Farin Numunesi	14,2	23,2

Yakıt Analizleri Sonuçları

Kömür Analizi

Kömür analizleri ASTM D 3173, ASTM D 3174, ASTM D 3175, ASTM D 4239, ISO 1928 standardlarına göre yapılmış ve yukarıda Ankara çamurları için verilmiş olanla aynıdır (Tablo 11.29).

Kömür Külü Analizi

Kömür külü analizleri Spectro marka ICP-OES cihazı kullanılarak gerçekleştirilmiş ve yukarıda Ankara çamurları için verilmiş olanla aynıdır (Tablo 11.30).

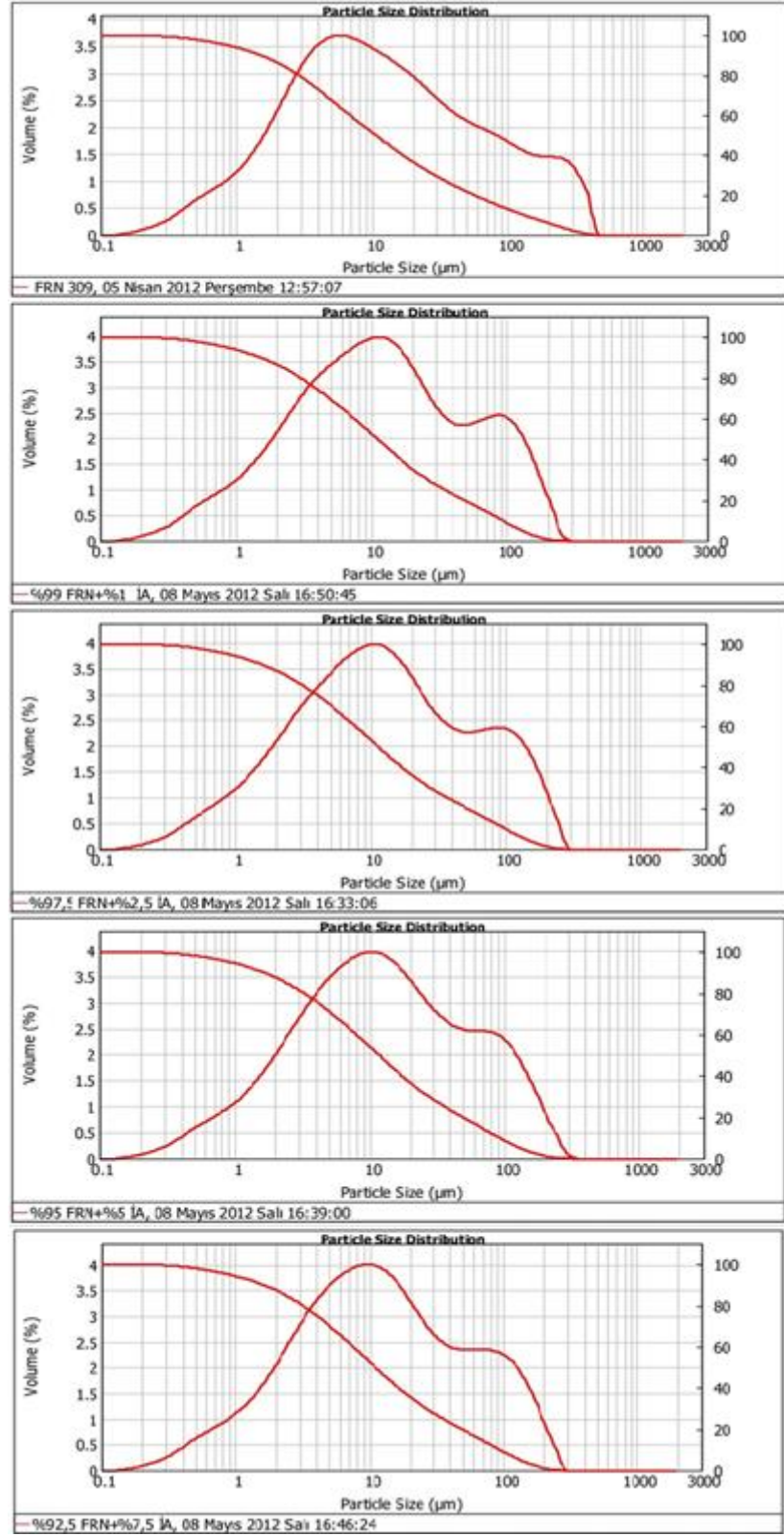
Karışım Numuneleri Analizleri ve Sonuçlar

Karışım Numuneleri Tanımlamaları ve Oranları

Referans farin ve İzmir arıtma çamuru numuneleri ile hazırlanan karışımların tanımları ve oranları Tablo 11.38’de verilmiştir.

Tablo 11.38: Referans Farin ve Arıtma Çamuru Numuneleri ile Hazırlanan Karışımların Tanımları ve Oranları

Karışım Tanımları	Karışım Oranları
Referans Farin	% 100,0 Referans Farin
Karışım 1	%99,0 Referans Farin+ %1,0 İzmir Arıtma Çamuru
Karışım 2	%97,5 Referans Farin+ %2,5 İzmir Arıtma Çamuru
Karışım 3	%95,0 Referans Farin+ %5,0 İzmir Arıtma Çamuru
Karışım 4	%92,5 Referans Farin+ %7,5 İzmir Arıtma Çamuru



Şekil 11.55: İzmir Çamuru için Kullanılan Farin ve Farin/Çamur Karışımlarının Parçacık Boyutu Analizi (a. farin, b. farin+%1 çamur, c. farin+%2,5 çamur, d. farin+%5 çamur, e. farin+%7,5 çamur)

Tane Boyu Dağılımı

Referans farine ek olarak karışım numunelerinde gerçekleştirilen elek analizi sonuçları Tablo 11.39'da sunulduğu gibidir.

Tablo 11.39: Karışım Numunelerinde Elek Analizi Sonuçları

Karışım Numuneleri	90 μ (%) Bakiye	45 μ (%) Bakiye
Referans Farin Numunesi	14,2	23,2
Karışım 1	14,3	23,7
Karışım 2	13,6	24,2
Karışım 3	16,3	26,0
Karışım 4	17,2	27,4

Parçacık boyutu dağılımına ait histogramlar Şekil 11.55 (b-e)'de verilmiştir.

Fırın Besleme Numunelerinde Pişebilirlik İncelemesi

Ankara çamuruna benzer şekilde pişebilirlik incelemesi Protherm marka 1600°C Elektrikli Laboratuvar Fırınında gerçekleştirilmiştir. Referans farin ve hazırlanan karışımlara, 850 (kcal/kg klinker) pişme kalorisi esas alınarak kömür analizine göre %7,2 kömür ilave edilmiştir. Pişebilirlik incelemesi için oluşturulan kömür ilaveli fırın beslemeler 1300-1350-1400 ve 1450°C sıcaklıklarda programlı ısıtmaya tabi tutulmuşlardır.

Klinker Kimyasal Analizleri ve Sonuçları

Elde edilen klinker numunelerinde kimyasal analiz TS EN 196-2, Spectro Xepos marka ED-XRF cihazı kullanılarak yapılmış ve sonuçlar Tablo 11.40'da belirtilmiştir. Referans klinker hiç çamur içermezken, klinker 1 %1, klinker 2 %2,5, klinker 3 %5, klinker 4 ise %7,5 oranında arıtma çamuru içermektedirler.

Tablo 11.40: Klinkerizasyon (1450 °C) Sonrası Elde Edilen Klinker Numunelerinin Kimyasal Analiz Sonuçları

% Kimyasal Bileşen	Referans Klinker	Klinker 1	Klinker 2	Klinker 3	Klinker 4
K.Kayıbı	< 0,01	0,16	0,19	0,10	0,00
SiO ₂	20,82	20,67	20,69	20,52	21,28
Al ₂ O ₃	5,43	5,32	5,28	5,25	5,42
Fe ₂ O ₃	3,26	3,22	3,29	3,2	3,36
CaO	65,60	65,36	64,86	63,78	64,76
MgO	1,92	1,94	1,84	1,91	2,01
SO ₃	0,62	1,51	1,49	1,51	1,41
K ₂ O	0,64	0,61	0,60	0,51	0,53
S.CaO	1,93	1,62	1,56	1,23	0,49
LSF	98,17	98,66	97,83	97,03	95,01

Tablo 11.40 (devam): Klinkerizasyon (1450 °C) Sonrası Elde Edilen Klinker Numunelerinin Kimyasal Analiz Sonuçları

% Kimyasal Bileşen	Referans Klinker	Klinker 1	Klinker 2	Klinker 3	Klinker 4
SİM	2,40	2,42	2,41	2,43	2,42
ALM	1,67	1,65	1,60	1,64	1,61
C ₃ S	59,83	62,05	60,27	58,84	58,70
C ₂ S	14,56	12,45	13,85	14,44	16,73
C ₃ A	8,87	8,65	8,43	8,50	8,68
C ₄ AF	9,92	9,80	10,01	9,74	10,22
Likit Faz	25,91	25,49	25,42	25,11	26,09

Klinkerizasyon sırasında beş kritik sıcaklıkta S. CaO oranları ölçülmüştür. Sonuçlar Tablo 11.39'da verilmiştir.

Tablo 11.41: Klinkerizasyon Sırasında Numunelerin S.CaO Değerlerinin Sıcaklıkla Değişimi

% S. CaO miktarı	1300°C	1350°C	1400°C	1450°C
Referans Farin Numunesi	8,71	4,73	2,82	1,93
Karışım 1	9,95	5,81	2,08	1,62
Karışım 2	9,92	5,60	2,53	1,56
Karışım 3	8,73	5,08	1,73	1,23
Karışım 4	7,06	3,76	1,11	0,49

Klinker Mineralojik Analizleri ve Sonuçları

X- Işınları Biriminde fırın beslemelerin klinkerizasyonu sonrasında elde edilen klinker numunelerinde mineralojik yapı incelenmiş, aşağıdaki faz oluşumları gözlenmiştir:

Referans Klinker:

Alit (C₃S), Belit (C₂S), Alüminat (C₃A), Ferrit (C₄AF) (Şekil 11.43)

Klinker 1:

Alit (C₃S), Belit (C₂S), Alüminat (C₃A), Ferrit (C₄AF) (Şekil 11.44)

Klinker 2:

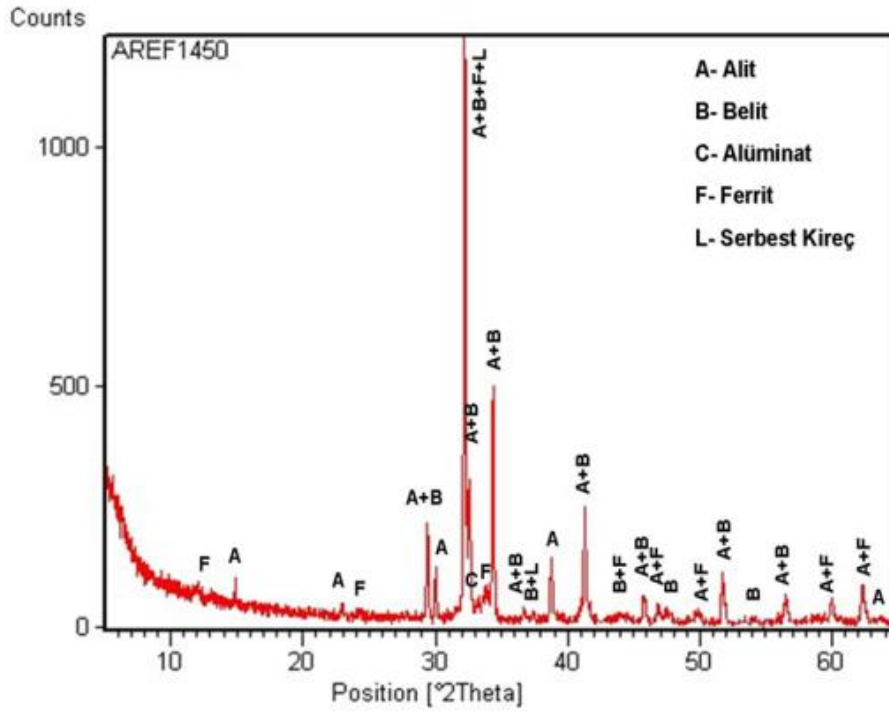
Alit (C₃S), Belit (C₂S), Alüminat (C₃A), Ferrit (C₄AF) (Şekil 11.45)

Klinker 3:

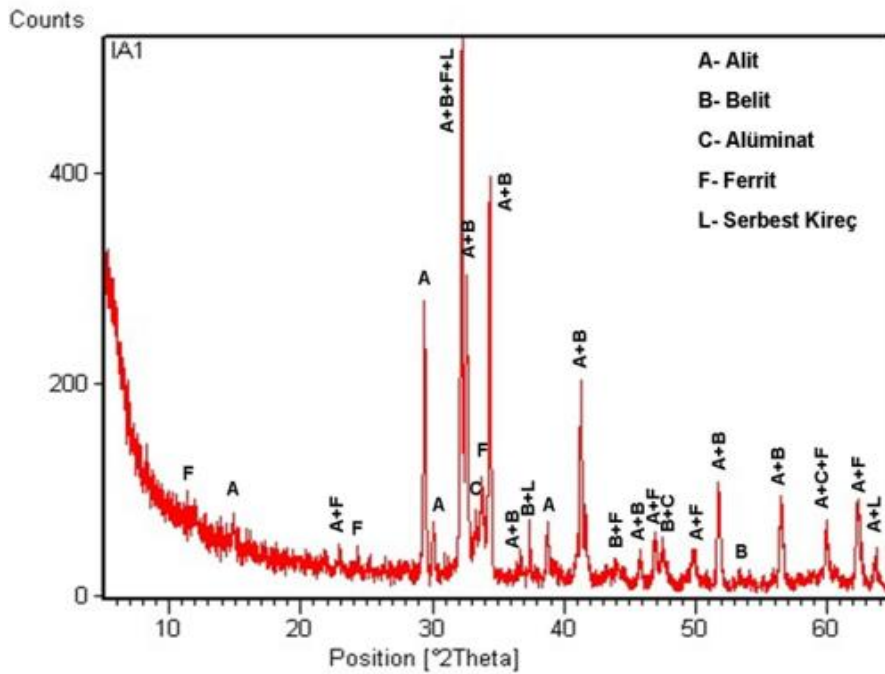
Alit (C₃S), Belit (C₂S), Alüminat (C₃A), Ferrit (C₄AF) (Şekil 11.46)

Klinker 4:

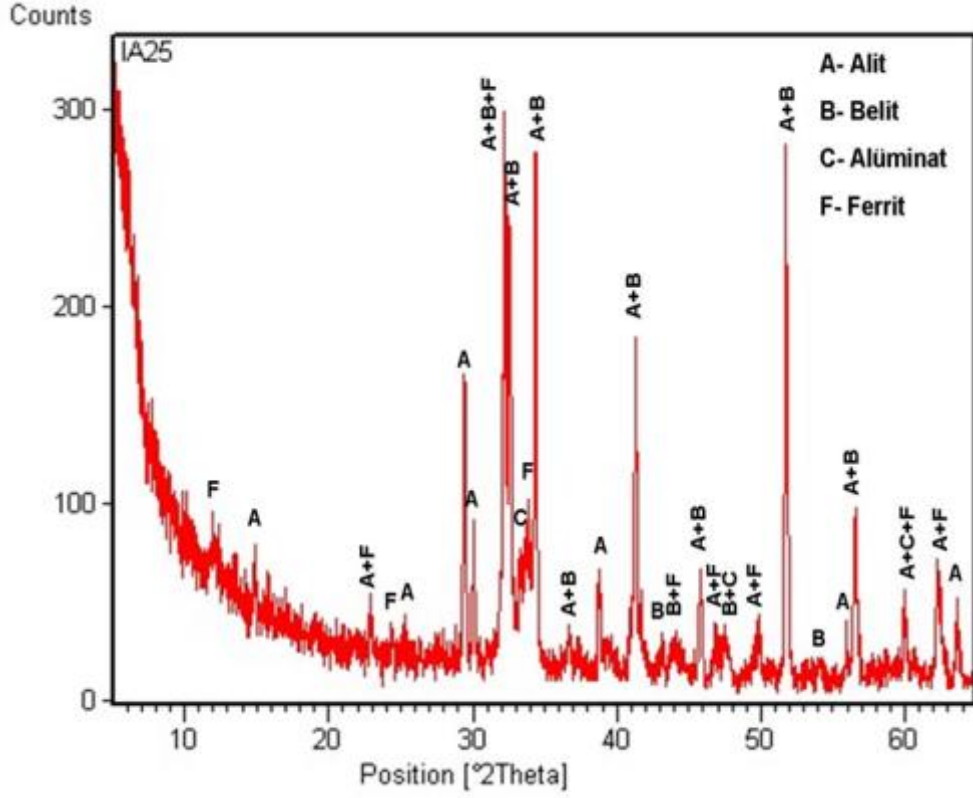
Alit (C_3S), Belit (C_2S), Alüminat (C_3A), Ferrit (C_4AF) (Şekil 11.47)



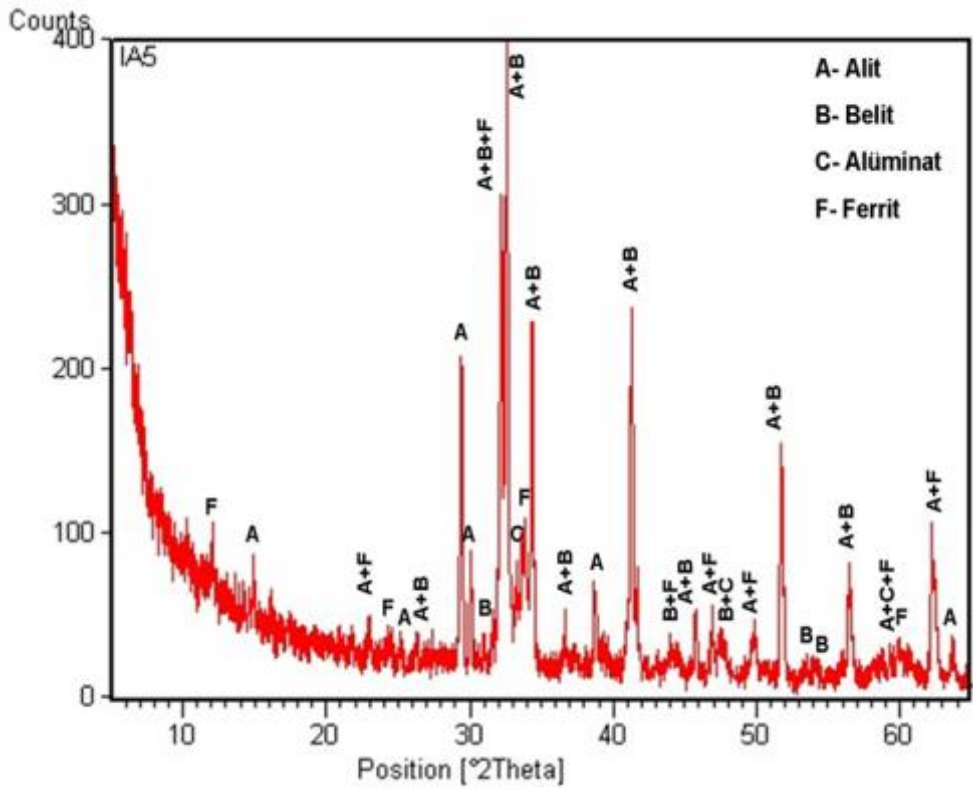
Şekil 11.56: Referans Klinkerin XRD Grafiği



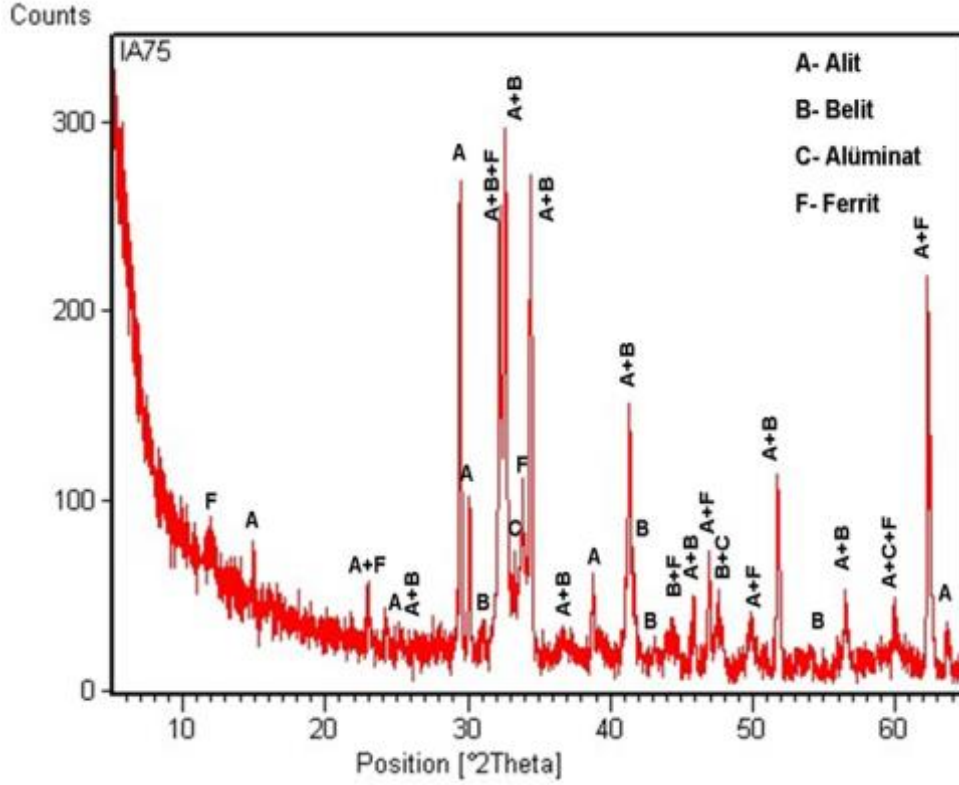
Şekil 11.57: Farin ve %1 İzmir AAT Çamuru Karışımından Oluşan Klinkerin XRD Grafiği



Şekil 11.58. Farin ve %2,5 İzmir AAT Çamuru Karışımından Oluşan Klinkerin XRD Grafiği



Şekil 11.59: Farin ve %5 İzmir AAT Çamuru Karışımından Oluşan Klinkerin XRD Grafiği



Şekil 11.60: Farin ve %7,5 İzmir AAT Çamuru Karışımından Oluşan Klinkerin XRD Grafiği

İzmir Çamurları için Sonuçların Değerlendirmesi

Referans farin numunesinin mineralojik yapısında iyi pişen kil minerali illit ile pişme gücüne neden olan kalsit, kuvars ve feldispat (albit) bulunmaktadır. Buna karşılık, hematitin sıvı faz miktarında artışa yol açacağı düşünülmektedir.

İzmir Çiğli atıksu arıtma tesisi çamuru numunesinde ise mineralojik kompozisyonu pişme gücüne yol açan kalsit, kuvars, feldispat (albit) kristalleri ile pişebilirliği olumlu etkileyen kil minerallerinin oluşturduğu tespit edilmiştir. Bunun yanısıra numunede bir de organik bileşik $[(CH_2)X]$ saptanmıştır. Ayrıca, kristal yapının yanısıra camsı faz içerdiği de görülmüştür. Bununla birlikte numunede kimyasal olarak yüksek miktarda (%2,51) P_2O_5 ve klorür (%1,05) saptanmıştır.

Klinkerizasyon sürecinde farin fırın boyunca ilerlediğinde daha yüksek sıcaklıklarla karşılaşmaktadır. Artan sıcaklıkla birlikte hammaddede bulunan hidrokarbonların bir kısmı buharlaşmakta ve yanmaktadır. Böylece organik hidrokarbonlar serbest kalmakta ve fırından çıkmaktadırlar. Bununla birlikte fırına beslenen hidrokarbonların kısmi oksidasyonu fırın içinde CO seviyesini de arttırabilmektedir.

Literatürde %0,5'den az P_2O_5 'in klinkerde olumsuz etkisinin gözlemlenmediği bilgisi mevcuttur. Buna göre, %0,5'den çok P_2O_5 ise pişirmeyi olumsuz etkilemektedir, dolayısı ile serbest kireci arttırmakta, ürünün erken dayanımını azaltmakta, priz süresini geciktirmektedir.

Döner fırın içinde klorürler alkalilerle reaksiyona girerek alkali klorürleri oluşturmaktadırlar, bunlar gazlarla döner fırını terkedip ön-ısıtıcıda yoğunlaşmaktadırlar. Ham karışımla fırın içine dönmekte ve pişme bölgesinde hemen hemen tamamen buharlaşmaktadırlar. Ön-ısıtıcı içinde yoğunlaştıklarından fırın işlemlerinin pişme bölgesi ile önısıtıcı arasında sirküle olmaktadır. Bu durum zaman içerisinde fırın ve ön-ısıtıcıda sarma, tutma, kemer oluşumu gibi sorunlara yol açmaktadır. Son yıllarda atıkların ikincil yakıt olarak kullanımının artması ile klor sorunu büyümüştür; kimi fabrikalar bu nedenle fırın- kule arasından aldıkları gazın %2-8 kadarını - tozundan temizledikten sonra- dışarı atarak (By-pass ederek) işletme sorunlarını azaltma yoluna gitmektedirler.

Pişebilirliğin mukayese edilmesi, böylece de İzmir arıtma çamuru numunesinin klinker üretiminde hammadde olarak etkisinin karşılaştırılabilmesi amacıyla referans farin ve %1,0, 2,5, 5,0 ve 7,5 oranında arıtma çamuru numunesi ikame edilen karışımlar hazırlanmıştır. Referans farin ve hazırlanan karışımlara, 850 (kcal/ kg klinker) pişme kalorisi esas alınarak kömür analizine göre %7,2 kömür ilave edilmiştir.

Referans farin ve hazırlanan karışımlar pişebilirlik incelemesi için 1300-1350-1400 ve 1450°C sıcaklıklarda programlı ısıtmaya tabi tutulmuştur. Oluşturulan klinkerlerin, mineralojik analizleri yapılmış ve temel klinker fazlarının oluştuğu görülmüştür. 1450 °C'de oluşturulan klinkerlerde sırası ile S.CaO değerlerinin %1,93, %1,62, %1,56, %1,23 ve %0,49 olması (% S.CaO < 2,00) farinlerin normal pişme karakterine sahip olduğunu göstermiştir.

Katılan arıtma çamuru miktarı arttıkça serbest kireç oluşumunun düşmesini, malzemelerin yapısına bağlı olarak LSF değerinin azalması açıklamaktadır. Bununla birlikte İzmir Çiğli AAT çamur numunesi çalışmasında atığın kimyasal ve mineralojik yapısına bağlı olarak bu etki zayıf olarak gözlenmektedir. Karışımların incelikleri de pişmede önemli bir parametredir, atık miktarı ile çok büyük değişiklik göstermemesi nedeniyle olumsuz bir etki gözlenmemiştir.

Bununla birlikte, tipik bir klinker için likit faz miktarı 1340°C'de %24, 1400 °C'de %26, ve 1450°C'de de %27 oranında olmaktadır. Ancak, İzmir Çiğli Arıtma Çamurunun ilavesi ile klinkerizasyon numunelerinin likit faz miktarında düşme gözlenmektedir, dolayısıyla bu, karışımın pişme karakteristiğini olumsuz etkileyen bir parametredir.

Tablo 11.42: İzmir Çiğli Arıtma Çamuru Kalite Parametreleri Karşılaştırma Tablosu

%	Referans Farin	Karışım 1	Karışım 2	Karışım 3	Karışım 4
S.CaO	1,93	1,62	1,56	1,23	0,49
LSF	98,17	98,66	97,83	97,03	95,01
C ₃ S	59,83	62,05	60,27	58,84	58,70
C ₂ S	14,56	12,45	13,85	14,44	16,73
Likit Faz	25,91	25,49	25,42	25,11	26,09

İzmit Karma Çamurlarının Pişebilirliğinin Değerlendirmesi

Hammadde Kimyasal Analiz Sonuçları

Referans Farin ve İzmit Karma Arıtma Çamuru numunelerinin kimyasal analizleri TS EN 196-2, Spectro Xepos marka ED-XRF ve Spectro marka ICP-OES metodu/ yöntemi/ cihazı kullanılarak yapılmış ve sonuçlar aşağıdaki tabloda belirtilmiştir.

Tablo 11.43: Referans Farin, Arıtma Çamuru Numunelerinin Kimyasal Analiz Sonuçları

% Kimyasal Bileşen	Referans Farin Numunesi	Nuh Çimento Karma Arıtma Çamuru Numunesi
Metod	ED- XRF / ICP-OES	XRF
Kızdırma Kaybı	35.24	79.17
SiO ₂	13.42	5.80
Al ₂ O ₃	3.58	2.16
Fe ₂ O ₃	2.15	2.38
CaO	43.58	5.57
MgO	1.27	0.56
SO ₃	0.11	1.12
Na ₂ O	0.16	0.06
K ₂ O	0.43	1.00
TiO ₂	0.18	0.23
Cr ₂ O ₃	0.024	0.01
MnO	-	-
Mn ₂ O ₃	0.03	0.13
P ₂ O ₅	0.07	1.63
V ₂ O ₅	-	0.01
Cl	0.0216	0.17
LSF	100.88	27.39
SİM	2.34	1.28
ALM	1.67	0.91

Hammadde Mineralojik Analiz Sonuçları

X-Işınları Biriminde PANalytical (Philips) Marka X'Pert MPD Model XRD cihazı kullanılarak Referans Farin, İzmit Karma Arıtma Çamuru ve Kömür Külü numunelerinin difraktogramları çekilmiş, mineralojik analizleri yapılmıştır. Difraktogramlar Şekil 11.61-Şekil 11.64'de verilmiştir.

Ayrıca, kalsit içeriği yüksek olan Referans Farin numunesi derişik HCl asitle muamele edilerek eliminasyon işlemleri uygulanmış ve kalsit minerali çözülerek ortamdaki uzaklaştırılmıştır. Böylece orijinal numunenin difraktogram çekiminde kalsitin baskıladığı fazların spesifik olarak tanımlanması sağlanmıştır.

Referans Farin:

Kalsit (CaCO_3), Kuvars (SiO_2), Dolomit [$\text{CaMg}(\text{CO}_3)_2$], Kil Minerali (Şekil 11.61)

Referans Farin (Eliminasyonlu):

Kuvars (SiO_2), Albit [$(\text{Na,Ca})\text{Al}(\text{Si,Al})_3\text{O}_8$], Hematit (Fe_2O_3), İllit [$(\text{K,H}_3\text{O})\text{Al}_2\text{Si}_3\text{AlO}_{10}(\text{OH})_2$] (Şekil 11.62)

Kömür Külü :

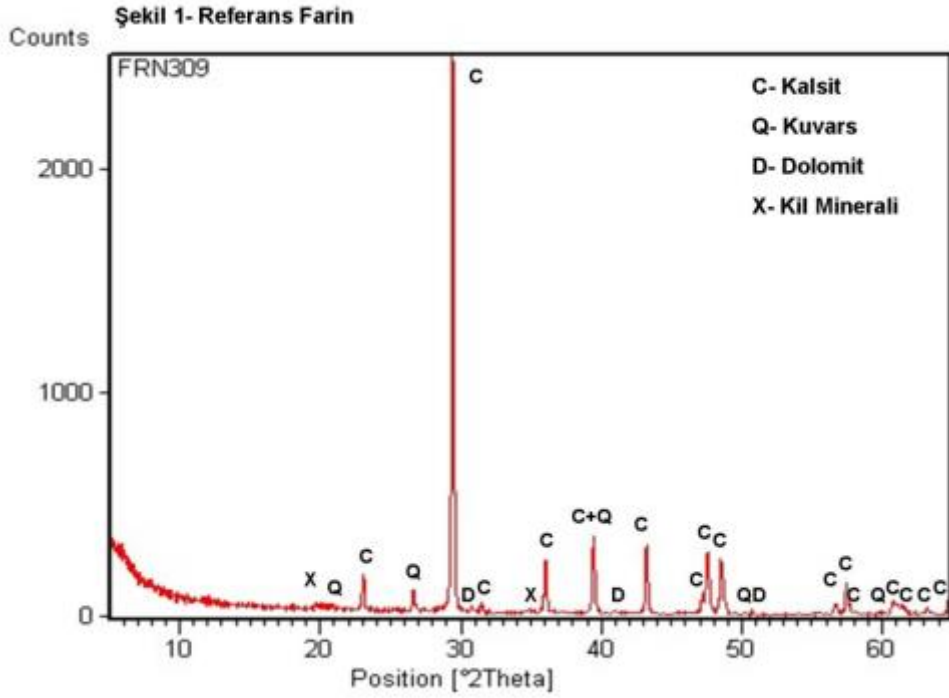
Kuvars (SiO_2), Hematit (Fe_2O_3), Anhidrit (CaSO_4), Muskovit [$(\text{K,Na})\text{Al}_2(\text{Si,Al})_4\text{O}_{10}(\text{OH})_2$] (Şekil 11.63)

İzmit Karma Arıtma Çamuru:

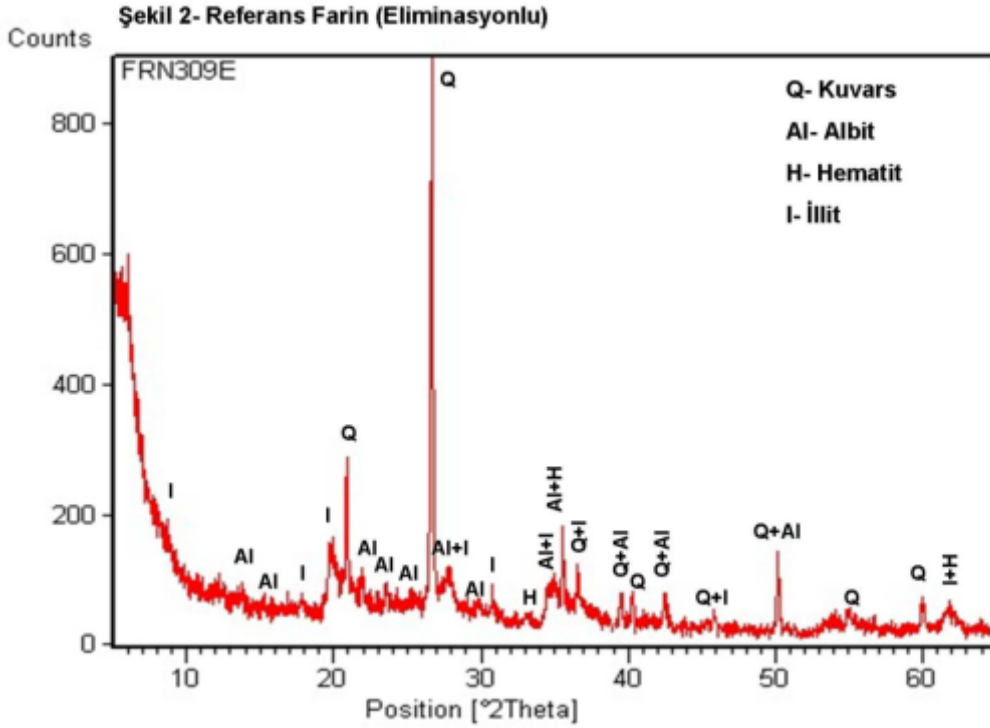
Kalsit (CaCO_3), Kuvars (SiO_2), Albit [$(\text{Na,Ca})\text{Al}(\text{Si,Al})_3\text{O}_8$], Klorit [$(\text{Mg,Al,Fe})_6(\text{Si,Al})_4\text{O}_{10}(\text{OH})_8$], Muskovit [$(\text{K,Na})\text{Al}_2(\text{Si,Al})_4\text{O}_{10}(\text{OH})_2$], Camsı Faz (Şekil 11.64)

Eliminasyon uygulamasında dikkat edilmesi gereken bir önemli nokta kristallenmesi çok iyi olan CaCO_3 'ün yani Kalsit'in ortamdaki uzaklaşması ile difraktogramın pik yüksekliklerinde meydana gelen düşüş olmaktadır. Kristallenmesi en az kalsit kadar iyi olan bir başka kristalin/mineralin numunenin genel kompozisyonunda bulunmaması durumunda eliminasyon işlemine tabi tutulmuş numunenin difraktogramı daha camsı bir görüntüye yol açmaktadır. Bu da gerçekte belirlenebildiği halde eliminasyon sonrası camsı fazın içinde kaybolduğundan piklerin tanımlanmasına engel olmaktadır.

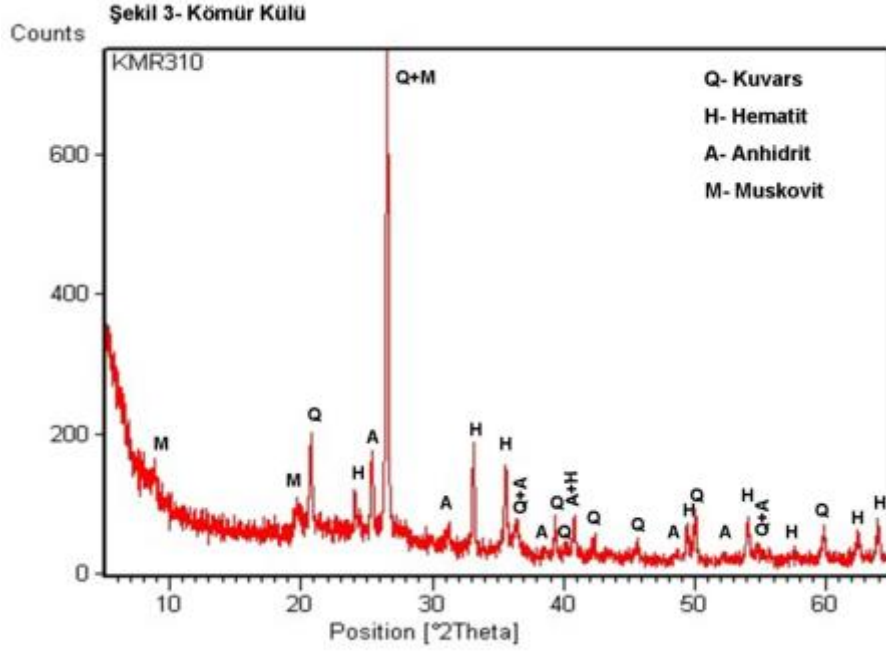
İzmit Karma Arıtma Çamuru'nun mineralojik analizinde de difraktogram üzerinde fazlar tespit edilebilmiştir. Tüm bu nedenler göz önünde bulundurularak numunenin eliminasyonlu çekiminin yapılmasına gerek görülmemiştir.



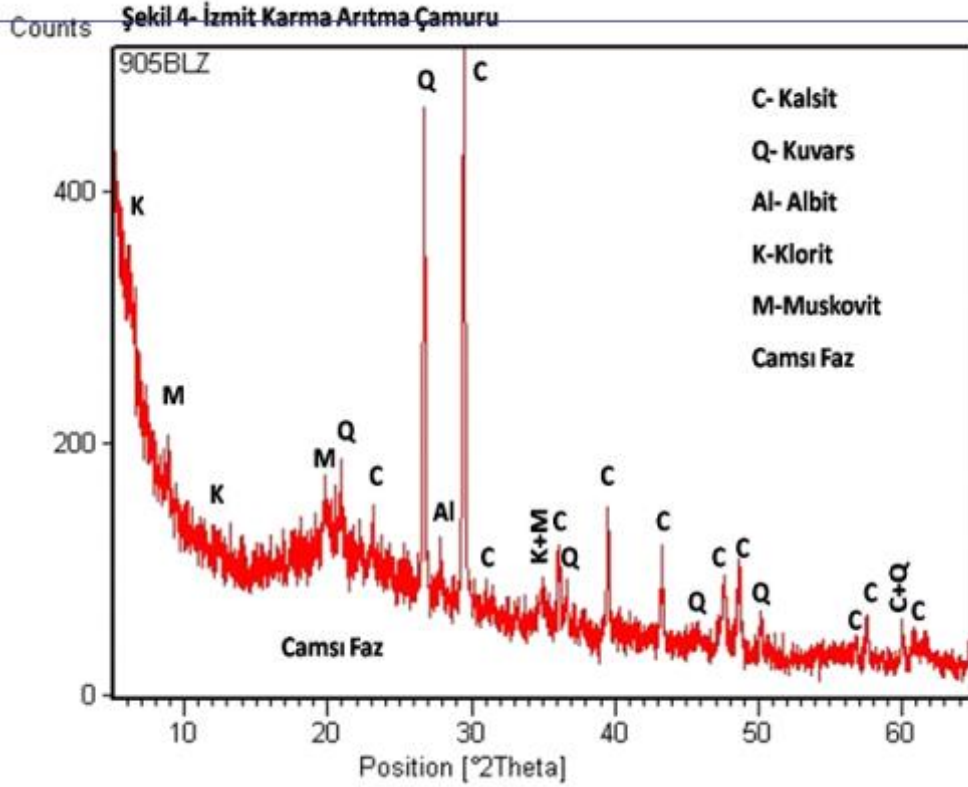
Şekil 11.61: Referans Farin Numunesinin XRD Grafiği



Şekil 11.62: Referans Farin Numunesinin (eliminasyonlu) XRD Grafiği



Şekil 11.63: Kömür Külünün XRD Grafiği



Şekil 11.64: İzmit Karma Çamur Numunesinin XRD Grafiği

Hammadde Tane Boyu Dağılımı Sonuçları

Malvern Mastersizer 2000 marka PSD cihazında Referans Farin numunesinin ön inceleme amaçlı olarak tane boyu dağılımı belirlenmiştir. Lazerli Tane Boyu Dağılımı Grafiği Şekil 11.65'te verilmiştir.

Lazerli Tane Boyu Dağılımı analizi sonuçları aşağıdaki gibidir:

Tablo 11.44: Referans Farin numunesinde Lazerli Tane Boyu Dağılımı analizi sonuçları:

	90µ (%) Bakiye	45 µ (%) Bakiye
Referans Farin Numunesi	14.2	23.2

Yakıt Analizleri Sonuçları

Kömür Analizi

Kömür analizleri ASTM D 3173, ASTM D 3174, ASTM D 3175, ASTM D 4239, ISO 1928 standartlarına göre yapılmış ve yukarıda Ankara çamurları için verilmiş olanla aynıdır (Tablo 11.29).

Kömür Külü Analizi

Kömür külü analizleri Spectro marka ICP-OES cihazı kullanılarak gerçekleştirilmiş ve yukarıda Ankara çamurları için verilmiş olanla aynıdır (Tablo 11.30).

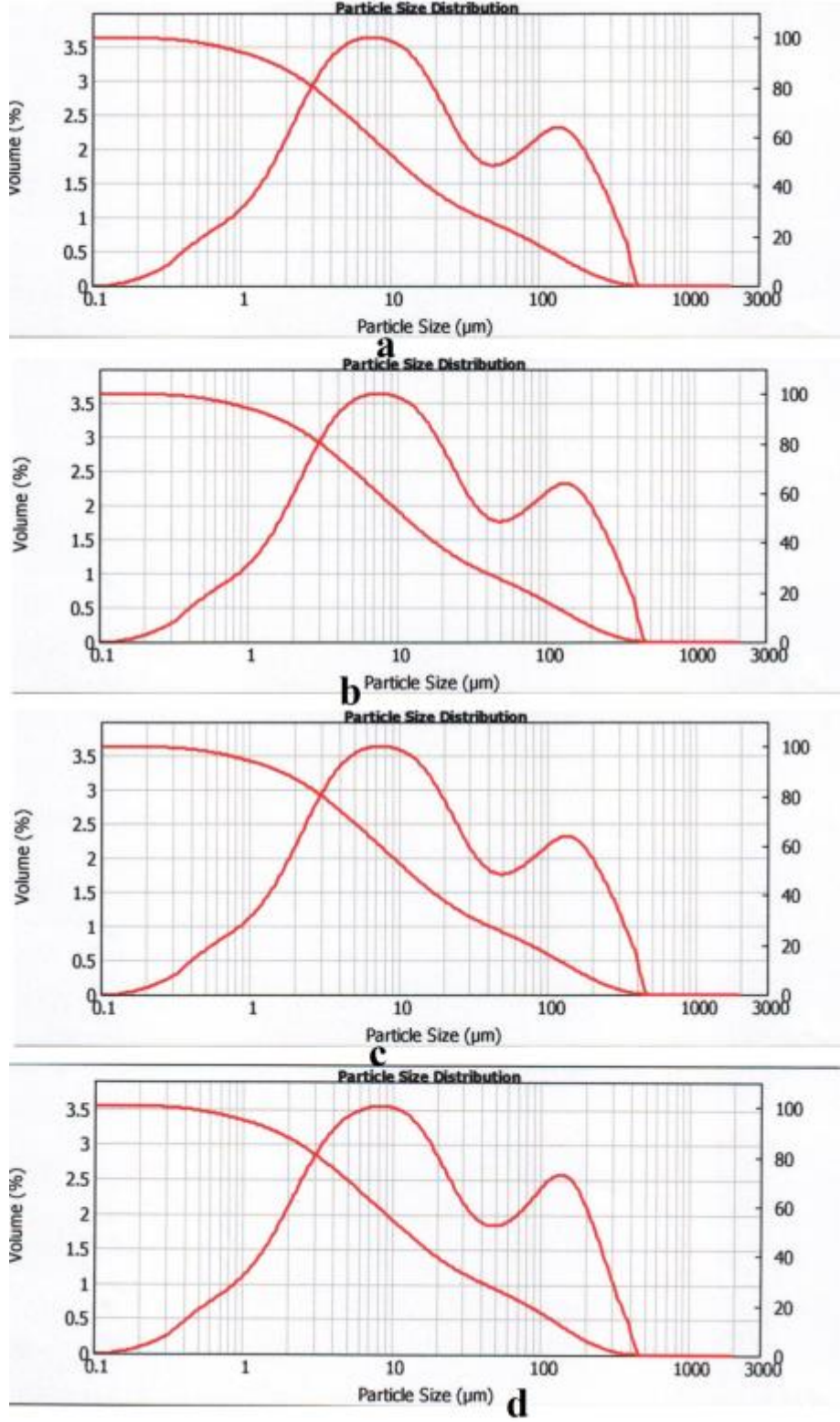
Karışım Numuneleri Analizleri ve Sonuçlar

Karışım Numuneleri Tanımlamaları ve Oranları

Referans Farin ve Nuh Çimento Karma Arıtma Çamuru numuneleri ile hazırlanan karışımların tanımları ve oranları Tablo 11.45'te verilmiştir:

Tablo 11.45: Referans Farin ve Çamur Numuneleri ile Hazırlanan Karışımların Tanımları ve Oranları

Karışım Tanımları	Karışım Oranları
Referans Farin	%100,00 Referans Farin
Karışım 1	%99.00 Referans Farin+ %1.0 İzmit Karma Arıtma Çamuru
Karışım 2	%97.50 Referans Farin+ %2.5 İzmit Karma Arıtma Çamuru
Karışım 3	%95.00 Referans Farin+ %5.0 İzmit Karma Arıtma Çamuru
Karışım 4	%92.50 Referans Farin+ %7.5 İzmit Karma Arıtma Çamuru



Şekil 11.65: İzmitKarma Çamuru için Kullanılan Farin ve Farin/Çamur Karışımlarının Parçacık Boyutu Analizi (**a.** farin, **b.** farin+%1 çamur, **c.** farin+%2,5 çamur, **d.** farin+%5 çamur, **e.** farin+%7,5 çamur)

Tane Boyu Dağılımı

Referans Farin'e ek olarak karışım numunelerinde gerçekleştirilen Lazerli Tane Boyu Dağılımı Analizi Sonuçları Tablo 11.46'da sunulduğu gibidir:

Tablo 11.46: Farin Numuneleri Lazerli Tane Boyu Dağılımı Analizi

Karışım Numuneleri	90 μ (%) Bakiye	45 μ (%) Bakiye
Referans Farin Numunesi (Şekil 11.65 a)	14.2	23.2
Karışım 1 (Şekil 11.65 b)	14.8	23.5
Karışım 2 (Şekil 11.65 c)	14.6	23.0
Karışım 3 (Şekil 11.65 d)	17.8	26.3
Karışım 4 (Şekil 11.65 e)	18.7	27.6

Lazerli Tane Boyu Dağılımı Analizi Grafikleri Şekil 11.65 (b-e)'de verilmiştir.

Fırın Besleme Numunelerinde Pişebilirlik İncelemesi

Pişebilirlik incelemesi Protherm marka 1600°C Elektrikli Laboratuvar Fırınında gerçekleştirilmiştir.

Referans farin ve hazırlanan karışımlara, 850 (kcal/ kg klinker) pişme kalorisi esas alınarak kömür analizine göre %7.2 kömür ilave edilmiştir.

Pişebilirlik incelemesi için oluşturulan kömür ilaveli fırın beslemeler 1300-1350-1400 ve 1450°C sıcaklıklarda programlı ısıtmaya tabi tutulmuşlardır.

Klinker Kimyasal Analizleri ve Sonuçları

Elde edilen klinker numunelerinde kimyasal analiz TS EN 196-2, Spectro Xepos marka ED-XRF cihazı kullanılarak yapılmış ve sonuçlar aşağıdaki tabloda belirtilmiştir.

Tablo 11.47: Klinkerizasyon (1450 °C) Sonrası Elde Edilen Klinker Numunelerinin Kimyasal Analiz Sonuçları

% Kimyasal Bileşen	Referans Klinker	Klinker 1	Klinker 2	Klinker 3	Klinker 4
K.Kaybı	< 0.01	0.01	< 0.01	< 0.01	< 0.01
SiO ₂	20.82	21.11	21.27	21.32	21.42
Al ₂ O ₃	5.43	5.59	5.53	5.47	5.41
Fe ₂ O ₃	3.26	3.50	3.47	3.45	3.42
CaO	65.60	66.88	66.55	65.9	65.55
MgO	1.92	1.98	1.89	1.85	1.87
SO ₃	0.62	1.27	1.21	1.3	1.35
K ₂ O	0.64	0.63	0.50	0.55	0.56
S.CaO	1.93	2.35	1.56	0.95	0.45
LSF	98.17	98.38	97.39	96.35	95.58

Tablo 11.47 (devam): Klinkerizasyon (1450 °C) Sonrası Elde Edilen Klinker Numunelerinin Kimyasal Analiz Sonuçları

% Kimyasal Bileşen	Referans Klinker	Klinker 1	Klinker 2	Klinker 3	Klinker 4
SİM	2.40	2.32	2.36	2.39	2.43
ALM	1.67	1.60	1.59	1.59	1.58
C ₃ S	59.83	59.71	60.81	60.70	61.00
C ₂ S	14.56	15.48	15.11	15.33	15.40
C ₃ A	8.87	8.89	8.78	8.66	8.55
C ₄ AF	9.92	10.65	10.56	10.50	10.41
Likit Faz	25.91	26.98	26.69	26.49	26.14

Klinkerizasyon sırasında beş kritik sıcaklıkta S. CaO oranları ölçülmüştür. Sonuçlar Tablo 11.48'de verilmiştir.

Tablo 11.48: Klinkerizasyon Sırasında Numunelerin S.CaO Değerlerinin Sıcaklıkla Değişimi

% S. CaO miktarı	1300°C	1350°C	1400°C	1450°C
Referans Farin Numunesi	8.71	4.73	2.82	1.93
Karışım 1	9.18	5.36	3.13	2.35
Karışım 2	7.33	4.12	1.73	1.56
Karışım 3	6.99	3.12	1.17	0.95
Karışım 4	8.33	2.13	1.08	0.45

Klinker Mineralojik Analizleri ve Sonuçları

X- Işınları Biriminde fırın beslemelerin klinkerizasyonu sonrasında elde edilen klinker numunelerinde mineralojik yapı incelenmiş, aşağıdaki faz oluşumları gözlenmiştir:

Referans Klinker:

Alit (C₃S), Belit (C₂S), Alüminat (C₃A), Ferrit (C₄AF), Serbest Kireç (CaO) (Şekil 11.66)

Klinker 1:

Alit (C₃S), Belit (C₂S), Alüminat (C₃A), Ferrit (C₄AF), Serbest Kireç (CaO)(Şekil 11.67)

Klinker 2:

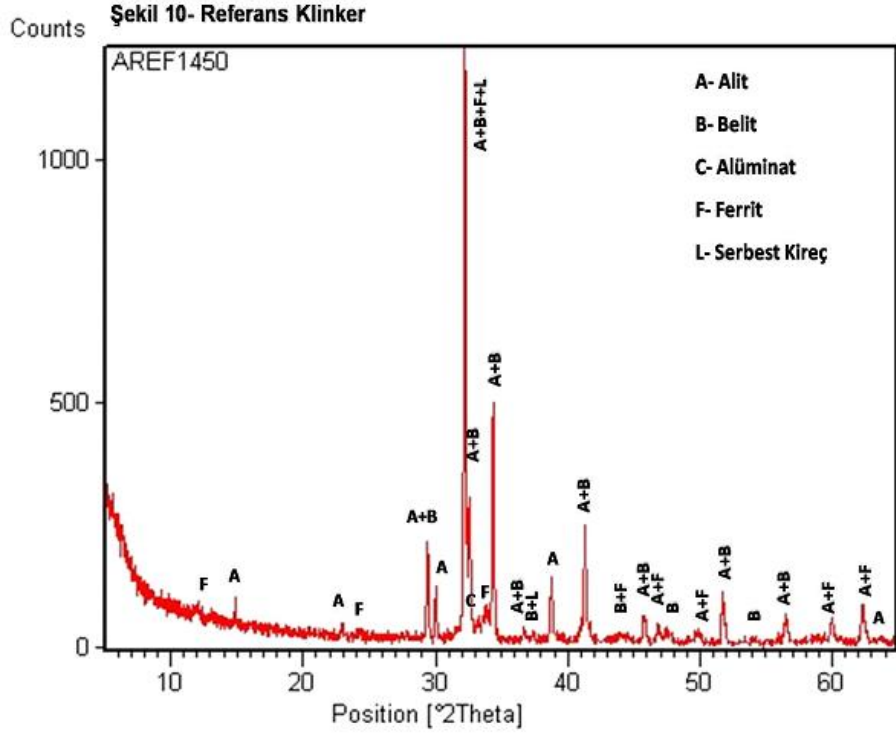
Alit (C₃S), Belit (C₂S), Alüminat (C₃A), Ferrit (C₄AF), Kristobalit (SiO₂)(Şekil 11.68)

Klinker 3:

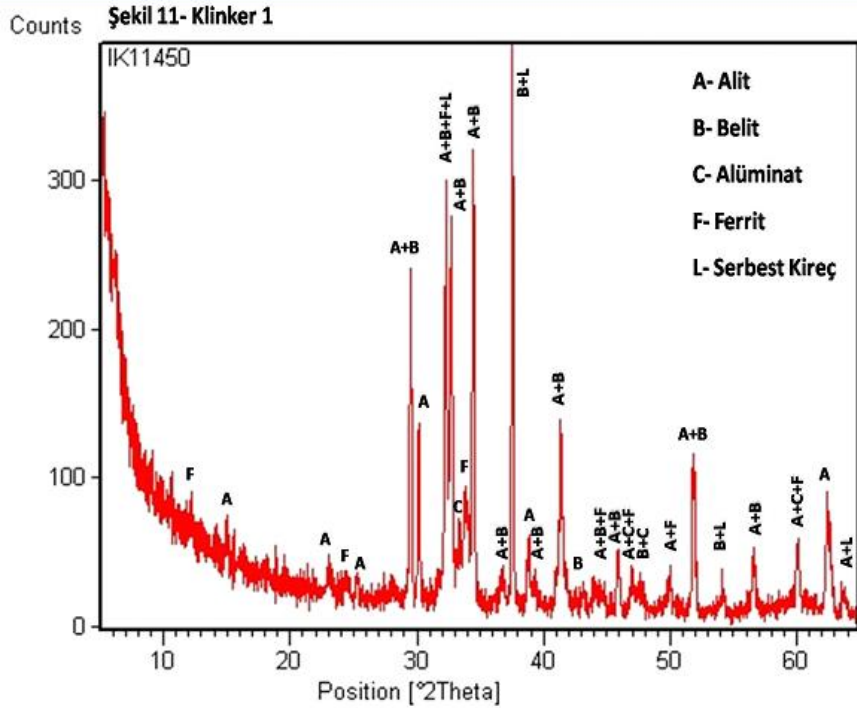
Alit (C₃S), Belit (C₂S), Alüminat (C₃A), Ferrit (C₄AF), Serbest Kireç (CaO)(Şekil 11.69)

Klinker 4:

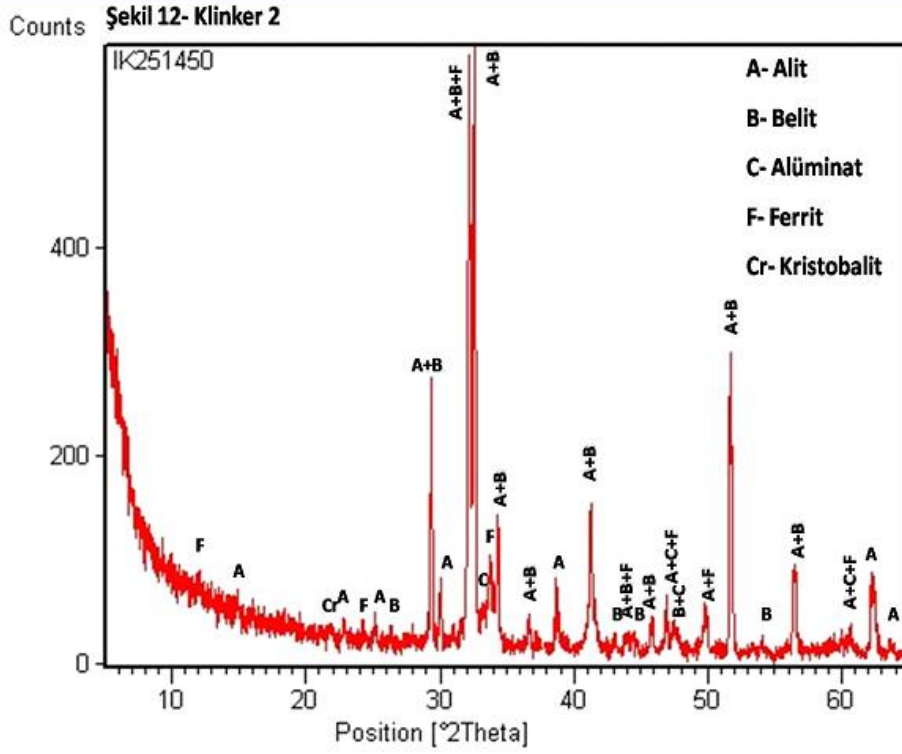
Alit (C₃S), Belit (C₂S), Alüminat (C₃A), Ferrit (C₄AF) (Şekil 11.70)



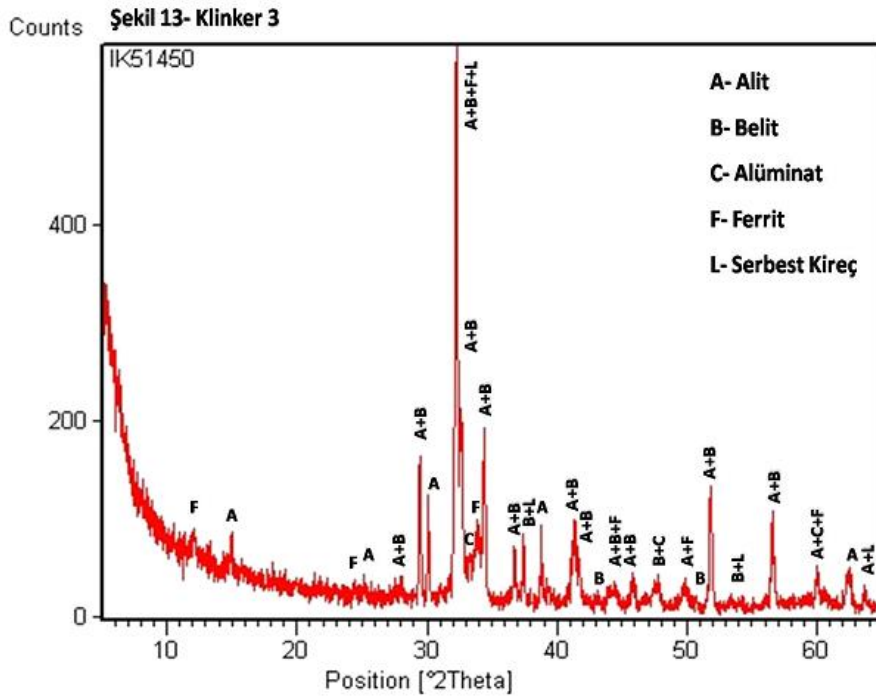
Şekil 11.66: Referans Klinkerin XRD Grafiği



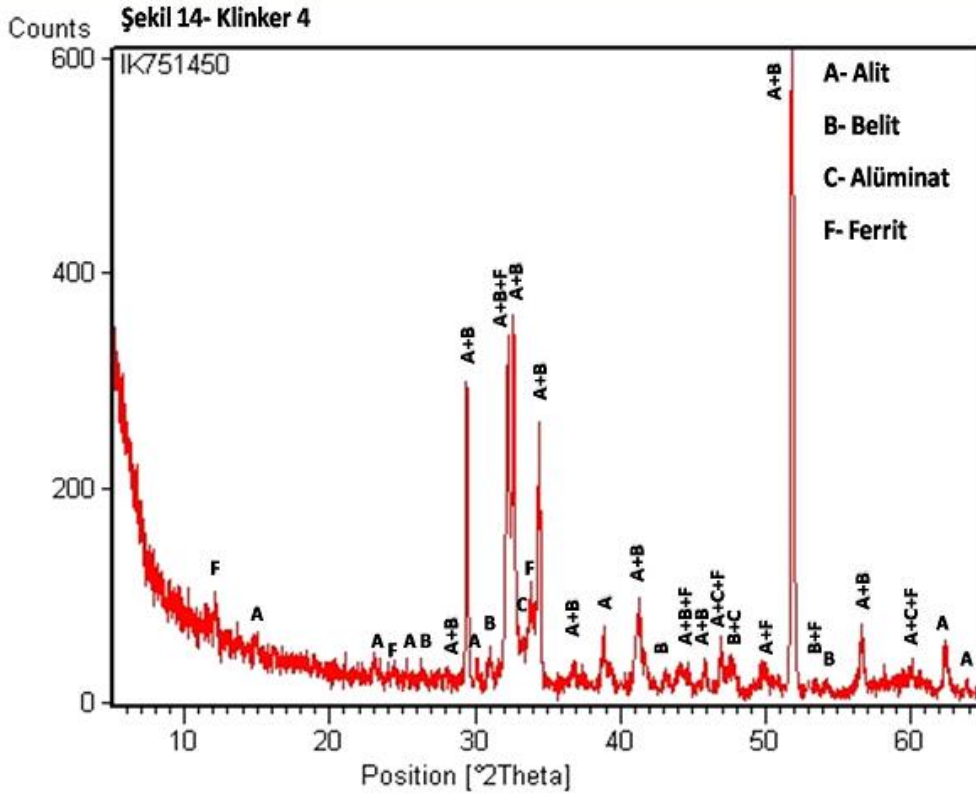
Şekil 11.67: Farin ve %1 Nuh Çimento KarmaÇamuru Karışımından Oluşan Klinkerin XRD Grafiği



Şekil 11.68: Farin ve %2,5 Nuh Çimento KarmaÇamuru Karışımından Oluşan Klinkerin XRD Grafiği



Şekil 11.69: Farin ve %5 Nuh Çimento Karma Çamuru Karışımından Oluşan Klinkerin XRD Grafiği



Şekil 11.70: Farin ve %7,5 Nuh Çimento Karma Çamuru Karışımından Oluşan Klinkerin XRD Grafiği

İzmit Karma Çamurları için Sonuçların Değerlendirmesi

Referans farin numunesinin mineralojik yapısında iyi pişen kil minerali **illit** ile pişme güçlüğüne neden olan **kalsit**, **kuvars** ve **feldispat** (albit) bulunmaktadır. Buna karşılık, hematitin sıvı faz miktarında artışa yol açacağı düşünülmektedir.

İzmit Karma Arıtma Tesisi Çamuru numunesinin mineralojik kompozisyonunun da pişme güçlüğüne yol açan kalsit, kuvars, feldispat (albit) kristalleri ile pişebilirliği olumlu etkileyen muskovit ve klorit minerallerinden oluştuğu tespit edilmiştir. Ayrıca, kristal yapının yanısıra camsı faz içerdiği de görülmüştür. Bununla birlikte numunede kimyasal olarak yüksek miktarda (**%1.63**) P_2O_5 saptanmıştır.

Literatürde %0.5'den az P_2O_5 'in klinkerde olumsuz etkisinin gözlemlenmediği bilgisi mevcuttur. Buna göre yukarıda da belirtildiği gibi, %0.5'den çok P_2O_5 ise pişirmeyi olumsuz etkilemektedir, dolayısı ile serbest kireci arttırmakta, ürünün erken dayanımını azaltmakta, priz süresini geciktirmektedir.

Pişebilirliğin mukayese edilmesi, böylece de İzmit karma arıtma çamuru numunesinin klinker üretiminde hammadde olarak etkisinin karşılaştırılabilmesi amacıyla referans farin ve %1.0, 2.5, 5.0 ve 7.5 oranında arıtma çamuru numunesi ikame edilen karışımlar hazırlanmıştır. Referans farin ve hazırlanan karışımlara, 850 (kcal/ kg klinker) pişme kalorisi esas alınarak kömür analizine göre %7.2 kömür ilave edilmiştir.

Referans farin ve hazırlanan karışımlar pişebilirlik incelemesi için 1300-1350-1400 ve 1450 °C sıcaklıklarda programlı ısıtmaya tabi tutulmuştur. Oluşturulan klinkerlerin, mineralojik analizleri yapılmış ve temel klinker fazlarının oluştuğu görülmüştür.

1450 °C’de oluşturulan klinkerlerde sırası ile S.CaO değerlerinin %1.93, %2.35, %1.56, %0.95 ve %0.45 olması (% S.CaO < 2.00), %1.0 arıtma çamuru ikame edilmiş karışım dışındaki tüm farinlerin normal pişme karakterine sahip olduklarını göstermiştir.

Katılan arıtma çamuru miktarı arttıkça serbest kireç oluşumunun düşmesini, malzemelerin yapısına bağlı olarak LSF değerindeki değişim (azalma) açıklamaktadır. Karışımların incelikleri de pişmede önemli bir parametredir, ancak atık miktarı ile artan tane boyuna rağmen pişebilirlikte olumsuz bir etki gözlenmemiştir.

Bununla birlikte, tipik bir klinker için likit faz miktarı 1340°C’de %24, 1400 °C’de %26, ve 1450°C’de de %27 oranında olmaktadır. Ancak, İzmit Karma Arıtma Çamurunun ilavesi ile klinkerizasyon numunelerinin likit faz miktarında değişim gözlenmemektedir, dolayısıyla bu oran karışımın pişme karakteristiğini olumsuz etkileyen bir parametre olarak düşünülmemektedir.

Tablo 11.49: İzmit Karma Arıtma Çamuru Kalite Parametreleri Karşılaştırma Tablosu

%	Referans Farin	Karışım 1	Karışım 2	Karışım 3	Karışım 4
S.CaO	1.93	2.35	1.56	0.95	0.45
LSF	98.17	98.38	97.39	96.35	95.58
C ₃ S	59.83	59.71	60.81	60.70	61.00
C ₂ S	14.56	15.48	15.11	15.33	15.40
Likit Faz	25.91	26.98	26.69	26.49	26.14

Çalışılan Arıtma Çamurlarının Karşılaştırması

Ankara Tatlar, İzmir Çiğli ve İzmit Karma arıtma çamurlarının pişebilirlik yönünden mukayesesi sağlayabilmek amacıyla Tablo 11.50 aşağıda sunulmuştur. İki farklı çamur numunesinin benzer şartlardaki davranımları karşılaştırıldığında, kalite değerlendirme kriterlerine göre ($LSF > \%97$ ve $C_3S \geq \%60$), kalitenin değişme noktasının Ankara AAT çamuru için %1, İzmir Çiğli AAT Çamuru için %5 ve Nuh Çimento Karma Arıtma çamuru için %2,5 olduğu görülmektedir.

Ancak laboratuvar ölçekli çalışmalar ile elde edilen bu sonuçlar, endüstriyel boyuttaki sonuçların genel değerlendirmesinde ayrıca önem taşımaktadır.

Tablo 11.50: Ankara Tatlar, İzmir Çiğli ve İzmit Karma Arıtma Çamuru Karşılaştırma Tablosu

% Referans Farin	Ankara Arıtma Çamuru				İzmir Çiğli Arıtma Çamuru				
	Karışım 1	Karışım 2	Karışım 3	Karışım 4	Karışım 1	Karışım 2	Karışım 3	Karışım 4	
S.CaO	1.93	0.96	0.46	0.44	0.34	1.62	1.56	1.23	0.49
LSF	98.17	97.22	93.9	91.91	87.45	98.66	97.83	97.03	95.01
C ₃ S	59.83	62.11	56.67	51.51	40.17	62.05	60.27	58.84	58.7
C ₂ S	14.56	13.64	19.38	23.81	34.21	12.45	13.85	14.44	16.73
Likit Faz	25.91	26.13	26.35	26.78	27.91	25.49	25.42	25.11	26.09
% Referans Farin	İzmit Karma Arıtma Çamuru								
	Karışım 1	Karışım 2	Karışım 3	Karışım 4					
S.CaO	1.93	2.35	1.56	0.95	0.45				
LSF	98.17	98.38	97.39	96.35	95.58				
C ₃ S	59.83	59.71	60.81	60.7	61				
C ₂ S	14.56	15.48	15.11	15.33	15.4				
Likit Faz	25.91	26.98	26.69	26.49	26.14				

11.1.4. ARITMA ÇAMURLARININ KURUTULMASI VE KURUTMA MALİYETLERİNİN DEĞERLENDİRİLMESİ

Arıtma çamuru kurutma, A.B.D., Japonya ve Avrupa ülkeleri başta olmak üzere bugün birçok ülkede uygulanmaktadır. Bu ülkelerde arıtma çamurunda yüksek oranda kuruluk özellikle arıtma çamurunun yakılacağı veya tarımsal amaçlı kullanılacağı durumlarda tercih edilmektedir (EPA, 1985a). Kurutma, çamur hacminin azaltılması ve böylece taşıma giderlerinin düşürülmesi, bazı kurutma sistemlerinin sağladığı yüksek ısı sayesinde patojen giderimine yardımcı olması nedeniyle de avantajlar sağlayabilmektedir.

Ülkemizde 03.08.2010 tarih ve 27661 sayılı resmi gazetede yayımlanan “Evsel ve Kentsel Arıtma Çamurlarının Toprakta Kullanılmasına Dair Yönetmelik” gereğince, kapasitesi bir milyon eşdeğer nüfusun üzerinde olan tesislerde oluşan arıtma çamurlarının en az % 90 kuru madde değerine kadar kurutulması esastır. Ancak, arıtma çamuru üreticileri % 90 kuru madde değerine ulaşmadan da kullanımın teknik ve ekonomik açıdan uygun olduğunu gösterebilirlerse bu şart aranmayabilmektedir.

11.1.4.1. Arıtma Çamuru Kurutma Sistemleri: Genel Bakış

Çamur kurutma geleneksel olarak çamur kurutma yatakları vasıtasıyla gerçekleştirilmiştir. Çamur kurutma yatakları en basit kurutma tekniği sayılmaktadır (EPA, 1985b). Çamur kurutma yatakları su drenajı ve buharlaşma ile çamurun kurumasını sağlayan bir yöntemdir. Klasik uygulamada yataklar genellikle üstü açık alanlardan oluşur; bu nedenle de kuruma işlemi iklim koşullarından önemli ölçüde etkilenmektedir. Yağış, güneşlenme şiddeti, hava sıcaklığı, nispi nem ve rüzgar hızı önemli etkenlerdir. Kuruma, mevsimlere bağlı olarak yaklaşık 6 hafta ile 12 haftada gerçekleşmektedir (Guyer, 2011). Günümüzde çamur kurutma yataklarının kurutma performansı, yatakların üstü cam, plastik gibi materyallerle kapatılarak veya ek ısı sağlanarak artırılabilir. Ek ısı biyogazdan, yakın mesafede atık ısı üreten tesislerden, jeotermal kaynaklardan veya güneş panellerinden elde edilebilmektedir. Ancak geleneksel çamur kurutma yatakları küçük lokal tesisler için halen kullanılmaktadır. Çamur kurutma yatakları, nispeten az enerjiye gereksinim göstermelerinden dolayı avantajlıdır. Ancak büyük ölçekli alan gerektirmeleri ve diğer sistemlere göre daha fazla işçilik gerektirmeleri bu sistemin dezavantajlarından (EPA, 1985b).

Açık veya kapalı çamur kurutma yataklarının yanısıra farklı endüstrilerde kullanılan kurutma sistemleri arıtma çamuru kurutmak için de kullanılabilir. Piyasada farklı endüstrilerde kullanılan 100’den fazla sayıda kurutucu mevcuttur. Bu kurutucular farklı katıları kurutmak için kullanılmış, kapasiteleri birkaç kg/saat’ten 30 ton/saat’e kadar ulaşmaktadır. Bu

kurutucuların kurutma süreleri yüklere bağlı olarak 0,3 saniyeden 5 aya kadar sürebilmektedir. Bu sistemlerin bir bölümü çamur kurutma amaçlı da kullanılmaktadır. Bunlar arasındaki seçim daha çok operasyon ve kapasite gereksinimleri, kurutma hızı ve maliyetlere bağlı olarak değişmektedir. İşletme maliyeti servis ömrü içinde ilk yatırım maliyetinin 10-20 katına kadar çıkabilmektedir. Bu yüzden kurutma maliyeti hesaplarında, kurutma için gereken enerji göz önünde bulundurulması gereken en önemli faktörlerden biridir (Mujumdar, 2007).

Günümüzde büyük ölçekli arıtma tesislerinin çamurlarının kurutulmasında kullanılan termal kurutucular dört ana sınıf içinde değerlendirilmektedir. Bunlar direkt kurutma sistemleri, indirekt kurutma sistemleri, indirekt-direkt karma kurutmalı sistemler ve diğerleridir (EPA, 2006).

Direkt kurutma sistemleri: Çamur sıcak gazlarla temas eder ve buharlaşma sağlanır. Tambur kurutucular, flash kurutucular, sprey kurutucular en çok kullanılan sistemler arasındadır. Bu tür kurutucularda giriş yükü genellikle proseslenmiş çamur ile karıştırılarak giriş kuru madde oranı yükseltilecek şekilde %40-%60 kurulukta gözlenen yapışkan fazın kuruma performansı üzerindeki olumsuz etkileri azaltılmaya çalışılır (EPA, 2006).

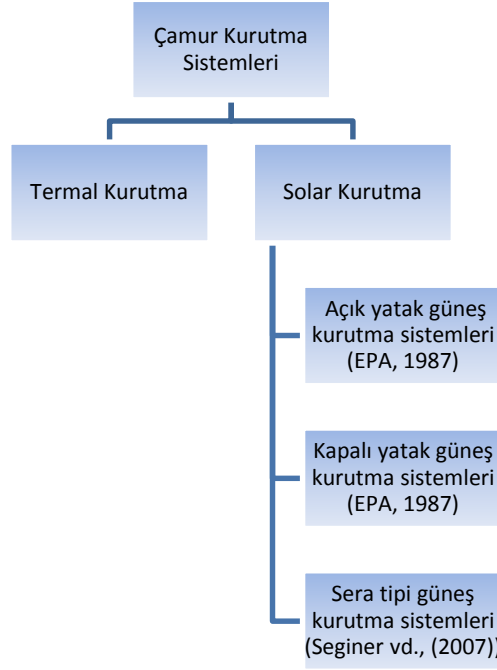
İndirekt kurutma sistemleri: Çamur ısı kaynağı olan buhar veya yağ ile temas halinde değildir. Buharlaşma ısı kaynağı ile ısıtılmış olan yüzeylere temas ile sağlanır. Isınmış pedal veya diskler partikülleri karıştırıp yüzeye daha fazla partikülün temasını sağlar. Bazı sistemlerde çamur girişte kuru çamur ile karıştırılıp yüklenir. Buharlı, bantlı, tepsili kurutucular bunlara örnektir. Bu tip kurutucular direkt kurutuculara göre daha az koku problemi yaratırlar. Kurutulmuş çamur enerji elde edilmek veya yakılmak için kullanılacaksa indirekt kurutucular direkt olanlara göre daha fazla tercih edilmektedir. İndirekt kurutucular kurutma sırasında daha az toz oluşumuna sebep olmaktadır. Bu nedenle daha az patlama riskine sahiptir (Mujumdar, 2007). Ancak oluşan peletler daha tozlu olduğu için markette satılabilme bakımından direkt kurutmadan elde edilenlere göre daha az tercih edilmektedir. İndirekt kurutucular büyük boyutta pelet oluşturabilir, bu da tarımsal uygulamalarda tercih edilmeyebilir (EPA, 2006).

İndirekt-direkt karma kurutmalı sistemler: En önemli örneği Carver-Greenfield prosesidir. A.B.D.'de ve Japonya'da örnekleri mevcuttur. Bu proseste susuzlaştırılmış çamur, No.2 veya isopar L gibi yağlarla karıştırılmaktadır (1 ölçü çamura 5 ile 10 ölçü arasında yağ). Çamur-yağ karışımı ısıya tabi tutularak suyun buharlaşması sağlanmakta, daha sonra santrifüj yardımıyla partiküller yağdan ayrılmaktadır. Yağ çevrim içinde tekrar kullanılmaktadır (EPA, 1985c). Bu sistemin yaygınlığı direkt veya indirekt kurutucularla karşılaştırıldığında daha azdır.

Diğer kurutma sistemleri: Mikrodalga kurutma en önemli örneğidir. Kurutma sırasında patojen uzaklaştırılması, ancak besin maddesi (N ve P) içeriğinde değişikliğe sebep olmaması, tarımsal uygulamalar için kullanım potansiyelini arttırmaktadır. Ancak diğer kurutma sistemlerle karşılaştırıldığında yaygın kullanımı yoktur (EPA, 2006).

Kurutma maliyetleri kurutucu tipi, atık ısı geri kazanım metodu veya başka ısı kaynaklarından atık ısı kazanılması, çamurun karakteristiği, hedeflenen kuruluk oranı ve enerji kullanımına bağlı olarak değişmektedir. Termal kurutma sistemlerinin (özellikle indirekt kurutucular) küçük tesisler (kuru bazda < 20 ton çamur/gün) için kullanılması genellikle ekonomik değildir. Ancak günümüzde termal kurutucular 10 ton çamur/gün'e (kuru baz) kadar çamur üreten arıtma tesislerinde dahi kullanılmaktadır. Termal kurutma sistemlerini kullanabilmek için arıtma çamurunun minimum %18-20 oranında susuzlaştırılması gerekmektedir (Flaga, 2007). Direkt kurutucular kg buharlaşan su başına 3100-3500 kJ ısı enerjisi kullanabilmektedir. Bu değer indirekt kurutucular için 2800-3300 kJ/kg su, Carver-Greenfield prosesi için yaklaşık olarak 2300 kJ/kg su olarak verilmektedir (Flaga, 2007). Lowe (1995) kurutma sistemlerinde su buharlaştırma için gerekli enerjinin yaklaşık olarak 1477 kJ/kg su – 1794 kJ/kg su arasında değiştiğini bildirmektedir. Değerlerdeki farklılıklar buharlaşma oranına/kapasitesine, ilk ve son sıcaklıklara, istenilen nem oranı değişikliklerine bağlıdır. Enerji maliyetleri, atık ısı kullanımı ile önemli ölçüde azaltılabilmektedir. Buharlaşma için gereken ısı enerjisi yanında, sistemlerin çalışması (örneğin taşıyıcı bantların ve pompaların çalıştırılması) için ayrıca elektrik enerjisine ihtiyaç vardır. Bu da 25-100 kWh/ton su olarak verilmektedir (EU-DG Environment, 2007). Kurutma işletme maliyetleri 180-300 \$/kuru ton çamur olarak belirtilmektedir (EPA, 2006). Ancak, daha önce de belirtildiği gibi atık ısı kullanımı işletme maliyetlerini önemli ölçüde azaltabilmektedir (EPA, 2006). Termal kurutma ünitelerinin ekipman maliyetlerinin (20-100 ton kuru madde/gün üretim aralığı için) kuru madde (ton/gün) başına \$110,000 - \$180,000 olarak değiştiği gözlenmiştir. Bina, kamu giderleri, şantiye çalışmaları, susuzlaştırılmış çamur keki transferi, ürün stoku, başarımlı testi gibi bileşenlerden oluşan ilk yatırım maliyetleri yaklaşık 220,000-300,000 \$/(kuru ton/gün) olarak verilmektedir (EU-DG Environment, 2007).

Proje kapsamında kurutma alternatifleri termal kurutma ve solar kurutma olarak 2 temel başlık altında toplanmıştır. Solar kurutma altında Şekil 11.71'de gösterildiği gibi üç farklı sistem incelenmiştir.



Şekil 11.71: Çalışmalarda Temel Alınan Farklı Çamur Kurutma Alternatifleri

Şekil 11.71’de gösterilen sistemler farklı arıtma tesisleri için maliyetler bazında karşılaştırılmıştır. Bu amaçla daha sonra detaylandırılacağı üzere ilk yıl ve 2040 yılına kadar olan maliyetler hesaplanmıştır. Maliyet hesapları; işletim, bakım ve yatırım maliyetleri olarak sınıflandırılmıştır. İşletim maliyetleri ise kendi içinde işçilik ve enerji maliyeti olarak ayrılmaktadır. Proje kapsamında değerlendirilen alternatiflerin hangilerinin seçilebileceği ise optimizasyon modelleri geliştirerek bulunmuştur. Hesaplamalar ile ilgili detaylar aşağıda açıklanmaktadır.

11.1.4.2. Termal Kurutma Sistemlerinde Çamur Kurutma için Gerekli Enerji Miktarlarının Hesaplanması

Enerji maliyetleri, ısıl enerji ihtiyaçlarının hesaplanması doğrultusunda bulunmuştur. IP 1 ve 2 kapsamında elde edilen bilgilerden yararlanılarak ülkemizde biyolojik arıtım yapan farklı kapasitelerdeki tesisler için bertaraf aşamasında içerdikleri suyun buharlaştırılması ve çamurun kurutulması için ne kadar ısı enerjisi gerektiği hesaplanmıştır. Hesaplar, termodinamik prensipler ışığında arıtma çamurlarının hedef kuruluğa ulaşması için gereken enerji bazında aşağıdaki denklemler kullanılarak yapılmıştır (Schwarz, 1988).

$$E_d = E_w + E_{w, \text{evap}} + E_{v0} + E_f \quad (1)$$

$$E_w = m_{w,s} * c_{p,w} * (100^\circ\text{C} - 15^\circ\text{C}) \quad (2)$$

$$E_{w, \text{evap}} = m_{w, \text{evap}} * (h_{v100} - h_{f100}) \quad (3)$$

$$E_{vo} = m_{vo} * c_{p,vo} * (100^{\circ}\text{C} - 15^{\circ}\text{C}) \quad (4)$$

$$E_f = m_f * c_{p,f} * (100^{\circ}\text{C} - T_m) \quad (5)$$

Burada;

E_d = Çamur kurutmak için gerekli olan enerji miktarı, (kJ/saat)

E_w = Çamurun içerisindeki toplam su miktarının 100°C ye çıkarılması için gerekli olan enerji, (kJ/saat)

$E_{w,evap}$ = Çamurun içerisindeki suyun buharlaşması için verilmesi gereken enerji, (kJ/saat)

E_{vo} = Çamurun içerisindeki organik katıların 100°C ye çıkması için gerekli olan enerji miktarı, (kJ/saat)

E_f = Çamurun içerisindeki inorganik katıların 100°C ye çıkması için gerekli olan enerji miktarı, (kJ/saat)

$m_{w,s}$ = Çamur içindeki suyun kütle akımı (kg/saat)

$m_{w,evap}$ = Kurutucuda buharlaşan su miktarının akımı (kg/saat)

m_{vo} = Uçucu maddenin kütle akımı (kg/saat)

m_f = Sabit katının kütle akımı (kg/saat)

$c_{p,w}$ = Suyun özısıısı (kJ/kg-°C) = 4.18 kJ/kg-°C (Sandler, 2006)

$c_{p,vo}$ = Çamur uçucu katıların özısıısı (kJ/kg-°C) ; 1.34 kJ/kg-°C (Shwarz, 1988)

$c_{p,f}$ = Çamur uçucu olmayan (fixed) katıların özısıısı (kJ/kg-°C) ; 0.88 kJ/kg-°C (Shwarz, 1988)

h_{v100} = Buharın entalpisi (kJ/kg); 2676 kJ/kg (Sandler, 2006)

h_{f100} = 100°C'deki sıvı fazdaki suyun entalpisi (kJ/kg); 419,06 kJ/kg (Sandler, 2006)

T_m = Çamurun kurutma sistemine girmeden önceki sıcaklığı

Yukarıdaki denklemde, ısıl enerji ihtiyacı çamurların uçucu ve sabit katı oranları, çamurların içindeki su miktarı ve buharlaşan su miktarına bağlıdır ve bu özellikler ayrı ayrı hesaba katılmıştır. Ancak dikkate alınması gereken önemli konu aşağıda açıklanmakta olan geri karıştırma işlemidir.

Geri karıştırma işlemi, termal kurutma sistemlerinin işletim verimini artırmak ve çamurdaki yapışkan faz özelliğini ortadan kaldırmak için uygulanabilecek önemli bir işlemdir (LOWE, 1995). Geri karıştırma işleminin prensibi bir miktar kurutulmuş çamurun kurutma prosesinin

başına gönderilerek kurutulacak olan ıslak çamur ile karıştırılması ile kurutucuya girecek olan çamurun katı madde oranının artırılmasıdır. Geri karıştırma işlemi sonrasında çamurların sahip oldukları özelliklerden katı madde oranı, çamurda bulunan su miktarı ve çamur sıcaklığı değişmektedir. Bu nedenle hesaplamalarda geri karıştırma işleminin çamur özelliklerinde yaratacağı değişiklikler dikkate alınmalıdır.

Cihazlar, yapışkan faz özelliği (sticky phase) taşıyan düşük katı madde oranlarına sahip çamurlar ile çalıştırıldıklarında, cihaz ömürlerinin ve çamurları % 90 kuruluğa getirmek için gerekli olan cihaz verimlerinin azaldığı ve bu durumdan kaçınmak gerektiği literatürdeki bilimsel çalışmalarda (Zhao ve diğ., 2010). ve Nuh-Çimento yetkilileri ile yapılan görüşmelerde belirtilmiştir. Bu nedenle %90 kuruluğa getirilmiş çamurun bir kısmı geri döndürülerek ıslak çamurla karıştırılmaktadır. Literatürdeki değerlendirmeler (Nuh çimento uygulamalarına da paralel olarak) ıslak çamurun kurutulmuş çamurla karışımı sonucunda %50 katı madde oranına yükseltilerek cihazda kurutma işlemine sokulduğu yönündedir. Bu nedenle, hesaplamalarda da kurutucu cihazlarından çıkan % 90 kuru çamurun bir kısmının cihaza giren düşük katı madde oranına sahip çamurlar ile karıştırılarak kurutmaya tabi tutulduğu varsayılmıştır. Geri döndürülecek % 90 kuruluktaki çamur miktarının hesaplanması denklem 6 kullanılarak yapılmıştır. Denklem 6'da da görüldüğü gibi, geri karıştırma işlemi sonrasında cihazlara girecek olan çamurların kütleleri ve kuru madde oranları değişmektedir. Dolayısı ile denklem 2'de yer alan çamurda bulunan su miktarı yeni kuru madde oranı ve yeni çamur kütlesi çarpılarak elde edilmelidir. Çamurda bulunan su miktarı denklem 7 ile hesaplanmıştır. Karışmış çamur sıcaklığı hesaplamalarında Denklem 8, uzaklaştırılan su miktarı hesaplamalarında ise Denklem 9 kullanılmıştır.

$$X = (S) * (1 - KM_i) / (KM_s - KM_k) \quad (6)$$

$$W = (X + S) * (1 - KM_k) \quad (7)$$

$$T_m = (S * T_1) + (X * T_r) / (S + X) \quad (8)$$

$$R = W - ((X + S) * (KM_k) * ((1 - KM_i) / (KM_i))) \quad (9)$$

Burada;

X = cihazın başına geri döndürülecek kurutulmuş çamur miktarı (kg/saat)

S = üretilen ıslak çamur miktarı (kg/saat)

KM_i = üretilen çamurun kuru madde oranı

KM_s = istenilen kuru madde oranı (0.90 varsayılmıştır)

KM_k = geri karışım sonrasında elde edilen kuru madde oranı (0.50 varsayılmıştır)

W = karışmış çamurda bulunan su miktarı (kg/saat)

T_m = karışmış çamurun sıcaklığı ($^{\circ}C$)

T_i = üretilen çamurun sıcaklığı ($^{\circ}C$)

T_r = kurutulan ve geri karıştırılan çamurun sıcaklığı ($^{\circ}C$)

Atıksu arıtma tesislerinde üretilen çamurların sıcaklıkları $15^{\circ}C$ (T_i) olarak alınmıştır (Schwarz, 1988). Geri karıştırma işlemleri ile ıslak çamura eklenecek olan kurutulmuş çamurun sıcaklığı, yanma ve patlama riski göz önüne alındığında Nuh-Çimento Çamur Kurutma Tesisi'ndeki gibi $45^{\circ}C$ (T_r) olacak şekilde hesaplara katılmıştır. Üretilen ve kurutulan çamurların geri karıştırma işlemi ile karıştırılmasından sonra oluşan karışmış çamur sıcaklığı, karıştırılan çamurların kütleleri ile doğru orantıda olacak şekilde hesaplanmıştır.

Buharlaşan su miktarları, % 90 kuruluğa ulaşmak için çamurdan uzaklaştırılan su miktarları olarak hesaplanmıştır. Geri karıştırma işlemlerinde zaten % 90 kuruluktaki kuru çamur sisteme geri döndürüldüğünden dolayı uzaklaştırılacak su miktarı geri karıştırma işlemleri ile değişmemektedir.

Yukarıda verilen denklemler doğrultusunda, üretilen ıslak çamur ile sistemin başına döndürülecek kurutulmuş çamur miktarlarının oranları farklı tesisler için 1:0,25 ile 1:1,244 ($S:X$) arasında değişmektedir. Çamur karışımı sıcaklıkları (T_m) ise $21^{\circ}C$ ile $31,63^{\circ}C$ arasında değişmektedir. Ayrıca uzaklaştırılacak su miktarları tesis kapasitelerine ve susuzlaştırma sistemlerine bağlı olarak yaklaşık 0,2 kg/saat ile 19,6 ton/saat aralığındadır. Enerji ihtiyacı hesaplarında gerekli olan parametrelerden çamurlardaki uçucu katı oranı % 75 ve sabit katı oranı ise %25 olarak alınmıştır.

Çamurun özelliklerinin belirlenmesiyle (uzaklaştırılacak su miktarı, geri karıştırma sonrası çamurdaki sabit katı, uçucu katı ve su miktarları ve çamurun sıcaklığı) denklemler 1, 2, 3, 4 ve 5 kullanılarak kurutma için gerekli olan toplam enerji miktarları hesaplanmıştır. Termal kurutma işlemleri sırasında enerjinin %90 verimle kullanıldığı varsayılmış ve hesaplamalar sonucu ortaya çıkan enerji ihtiyacı 0,9 katsayısına bölünmüştür (Schwarz, 1988). Termal kurutma sistemlerinde enerji maliyetleri kurutma için gerekli olan enerjinin elektrik enerjisi olarak kullanıldığı ve elektrik kullanımı birim maliyetinin Mersin AAT'den alınan 0.18 TL/kWh olduğu varsayımı ile belirlenmiştir. %90 verim katsayısı ile birinci yıl ihtiyaç duyulan enerji miktarları farklı tesisler için 142.730.936,7 kWsaat ile 1.632,5 kWsaat arasındadır. Birinci yıl elektrik tüketim maliyetleri ise 25.691.000 TL ile 300 TL arasında değişmektedir.

İşçilik ve yatırım maliyetleri kurutma sistemlerinin kapasitelerine bağlıdır. Kurutma cihazlarının kapasiteleri iki farklı birim ile ifade edilebilmektedir. Bunlardan biri cihaza giren ıslak çamur miktarı, diğeri ise uzaklaştırılacak su miktarı bazındadır. Ancak, cihaza giren katı madde oranının arttırılması için sistem girişinde uygulanacak olan kuru çamur beslemesi ve karıştırma sonrasında uzaklaştırılacak su miktarı sabit kalırken, giren ıslak çamur miktarı artacaktır. İşletim esnasında bant hızı ve bant üzerindeki çamur kalınlıkları değişken ve kontrol edilebilir olduğundan, cihazlara giren değişken ıslak çamur miktarları cihazlar tarafından tolere edilebilmektedir. Bu nedenle kapasiteye bağlı cihaz seçiminde, çamurdan uzaklaştırılacak su miktarı baz alınmıştır. Bu sayede söz konusu geri karıştırma işlemleri, kullanılacak cihazın kapasitesini ve kullanılacak cihaz sayısını değiştirmeyecektir. Çamurların termal kurutma ile istenilen kuruluğa getirilmelerine yönelik yapılan araştırmalar kapsamında, çeşitli firmalarla iletişime geçilmiş, farklı su buharlaştırma kapasitelerine sahip termal kurutucu cihazlarının yatırım maliyetleri SIEMENS, WATROPUR ve INNOPLANA firmalarından temin edilmiştir. Termal kurutucuların kapasitelerinin ve bu kapasiteler için ilk maliyetlerinin hesaplanmasında işletme süresi 2040 yılına kadar alınmış, TÜİK' ten alınan verilerle yapılan hesaplamalara göre bu süre sonuna kadar %23'lük nüfus artışı olabileceği öngörülmüş ve nüfus artışına bağlı olarak uzaklaştırılacak su miktarları yaklaşık olarak %23 arttırılmıştır. Üretici firmalardan gelen cihaz kapasite bilgileri değerlendirilerek %90 kuruluk için %23 arttırılmış uzaklaştırılacak su miktarları da göz önüne alınarak tüm tesisler için cihazlar seçilmiştir. Cihazlar, firmalardan alınan bilgilere bağlı olarak minimum sayıda ve minimum maliyette olacak şekilde seçilmiştir. En çok ıslak çamur üreten 20 atıksu arıtma tesisi için %23 arttırılmış miktarlar da dahil olmak üzere %90 kuruluk için uzaklaştırılacak su miktarları Tablo 11.51'de verilmiştir. Benzer hesapların tüm tesisler için yapılmasıyla ortaya çıkan sonuçlar EK F-X, Tablo F-X.1'de sunulmaktadır.

Tüm tesisler düşünüldüğünde, %90 kuruluk için %23 arttırılmış uzaklaştırılacak su miktarları 24.062,38 kg/saat ile 0,275 kg/saat arasında değişmektedir. Tesislerde kullanılmak üzere seçilen termal kurutma cihazlarının uzaklaştırılacak su miktarları bazında toplam kapasiteleri ise 34.616 kg/saat ile 4,2 kg/saat arasında değişmektedir (EK F-X, Tablo F-X.2). 1 Euro 2.33 TL alındığında, seçilen kurutma sistemlerinin yatırım maliyetleri 23.300.000 TL ile 153.000 TL aralığında yer almaktadır. İşçilik maliyetleri Nuh Çimento Fabrikası'ndan alınan değerlerin tesis kapasitelerine göre oranlanması ile hesaplanmıştır. Birinci yıl işçilik maliyetleri, asgari ücretin 739,79 TL olduğu varsayımı ile, 26.000 TL ile 8.000 TL arasında değişmiştir. Bakım maliyetlerinin ilk yatırım giderlerinin %1'i olduğu varsayılmıştır (Haandel, 2007). Tüm tesisler

için birinci yıl sonundaki bakım maliyetlerindeki değişme aralığı 2.330.000 TL ile 1.000 TL'dir. Toplam maliyetler daha sonra verileceği üzere yatırım, enerji, bakım/onarım ve işçilik maliyetlerinin toplamı olarak belirlenmiştir. Geri karıştırma işlemi ile çamurda halihazırda % 50 kuruluğa ulaşılabildiğinden ve maliyet ve enerji tüketimleri göz önünde bulundurulduğunda % 70 son kuruluk hedefinin anlamsız olduğu görüldüğünden, termal kurutma ile ilgili hesaplamalar yalnızca % 90 son kuruluk değeri için yapılmıştır.

Tablo 11.51: %90 kuruluk için uzaklaştırılacak su miktarları, toplam üretilen ıslak çamur ve %23 artırılmış uzaklaştırılacak su miktarları

Aritma tesisi	Eşdeğer Nüfus	Katı Madde Oranı	Toplam Üretilen Islak Çamur (kg/saat)	Uzaklaştırılacak su miktarı (kg su / saat)	% 23 Artırılmış Uzaklaştırılacak su miktarı (kg su / saat)
İzmir/Çiğli AAT	3.363.760	0,22	25.900,5	19.612,5	24.062,4
Ankara/ASKİ Merkez AAT	2.779.500	0,26	13.222,6	9.461,5	11.608,3
Kayseri/KASKİ Merkez AAT	1.363.400	0,19	11.929,9	9.411,3	11.546,7
İstanbul/İSKİ Tuzla AAT	1.250.000	0,26	10.714,3	7.619,0	9.347,7
İstanbul/İSKİ Ataköy AAT	1.555.556	0,25	8.321,3	6.009,9	7.373,4
Antalya/Hurma İleri Biyolojik AAT	666.667	0,18	7.475,9	5.980,7	7.337,7
Gaziantep/GASKİ 1 AAT	1.805.556	0,27	6.667,7	4.667,4	5.726,4
Bursa/BUSKİ Doğu AAT	814.222	0,20	6.492,8	5.050,0	6.195,8
Konya/KOSKİ Merkez AAT	1.248.611	0,27	5.239,1	3.667,3	4.499,4
İstanbul/Paşaköy AAT	911.111	0,25	4.926,8	3.558,2	4.365,5
Adana/Seyhan AAT	832.781	0,27	4.181,0	2.926,7	3.590,8
Denizli/Merkez AAT	666.667	0,20	4.002,7	3.113,2	3.819,6
Eskişehir/ESKİ Merkez AAT	555.333	0,25	3.382,2	2.442,7	2.996,9
Bursa/Yeşil Çevre A.Ş. AAT	325.222	0,22	3.169,5	2.394,7	2.938,1
Antalya/Alanya AAT	240.000	0,24	3.035,2	2.225,8	2.730,8
Sakarya/Karaman AAT	380.275	0,25	3.015,6	2.177,9	2.672,1
Kocaeli/İSU Gebze AAT	333.333	0,21	2.874,4	2.203,7	2.703,7
Mersin/Tarsus AAT	404.358	0,22	2.756,9	2.083,0	2.555,6
Bursa/BUSKİ Batı AAT	537.639	0,30	2.717,1	1.811,4	2.222,4
Mersin/Karaduvar AAT	650.000	0,30	2.605,5	1.737,0	2.131,1

2040 yılına kadar olan maliyetler hesaplanırken aşağıda verilen “net bugünkü değer” yöntemi kullanılmıştır. Buna göre, her yıldaki yıllık maliyet, o yıla kadarki enflasyon oranına bölünür ve bu azaltılmış maliyetler ilk maliyete eklenir (Blank and Tarquin, 1989). Tüm hesaplar için enflasyon oranı %7 olarak alınmıştır (TÜİK).

$$NBD = \dot{I}M + YM \sum_{i=0}^n \frac{1}{\left(1 + \frac{E}{100}\right)^i} \quad (10)$$

NBD : Net bugünkü değer (TL)

İM : İlk Maliyet (TL)

YM : Yıllık Maliyet (TL)

E : Yıllık enflasyon oranı (%).

İlk yıl için tesislerde üretilen çamurun termal kurutucu ile %90 kuruluğa getirilmesinin toplam maliyetleri 49.251.000 TL ile 163.000 TL aralığında yer almıştır. En yüksek kapasiteye sahip 25 adet tesiste, bu toplam maliyetlerin yarı yarıya ilk yatırım maliyeti ve işletme maliyetleri ile belirlendiği görülmektedir. Ancak, tesisin çamur üretim kapasitesi küçüldükçe yatırım maliyetlerinin toplam maliyetler içerisindeki payının giderek arttığı görülmüştür. En düşük kapasiteye sahip 107 tesiste yatırım maliyetlerinin toplam maliyete etkisinin %85 ile %94 arasında değiştiği ortaya çıkmıştır. En yüksek toplam maliyetler en fazla çamur üretiminin gerçekleştiği İzmir, Ankara ve Kayseri AAT için hesaplanmıştır. Maliyetlerin değerlendirilmesinde enerjinin elektrikten sağlanması ve atık ısı ya da enerji geri devir sistemlerinin hesaba katılmaması sebebi ile enerji maliyetleri olabilecek en yüksek seviyeden hesaplanmıştır. Dolayısı ile rakamlar oluşabilecek maksimum maliyetleri temsil etmektedir. Diğer taraftan 2040 yılına kadar olan maliyetler incelendiğinde, yüksek çamur üretim kapasitesine sahip tesislerin elektrik tüketim maliyetlerinin toplam maliyetlerdeki paylarının yüksek olduğu gözlenmiştir. En yüksek kapasiteli ilk 40 tesisin elektrik tüketim payları %93 ile %85 arasında değişmektedir. Çok küçük kapasiteli birkaç tesis haricinde, bu payın %45 ve üzeri olduğu tespit edilmiştir. 2040 yılına kadar olan toplam maliyetlerin yaklaşık 367.871.000 TL ile 295.000 TL arasında yer aldığı görülmektedir (EK F-X, Tablo F-X.2). Birinci yılın tüm maliyetleri ve 2040 yılına kadar olan toplam maliyetler seçilmiş tesisler için Tablo 11.52’de verilmiştir. Tüm tesisler için değerler Ek 11 Tablo 2’de görülebilir.

Tablo 11.52: Termal kurutma ile %90 kuruluğa erişmek için birinci yıl ve 2040 yılına kadar olan maliyetler

Aritma tesisi	%23 Artırılmış Uzaklaştırılacak su miktarı (kg su / saat)	Kurutma İçin Gerekli Enerji (kW)	Kullanılacak Cihazların Toplam Kapasiteleri (kg su / saat)	Cihazların Yatırım Maliyetleri (TL)	İlk Yılın Bakım Maliyeti (TL)	İlk Yılın İşçilik Maliyeti (TL)	İlk Yılın Elektrik Maliyeti (TL)	İlk yılın Toplam Maliyeti (TL)	2040 Yılına Kadar Toplam Maliyet (TL)
İzmir/Çiğli AAT	24.062,4	14.664,1	34.616,0	23.300.000	233.000	26.000	25.691.000	49.251.000	367.871.000
Ankara/ASKİ Merkez AAT	24.062,4	14.664,1	34.616,0	12.582.000	125.000	17.000	12.422.000	25.148.000	179.435.000
Kayseri/KASKİ Merkez AAT	11.608,3	7.090,7	15.000,0	12.582.000	125.000	17.000	12.308.000	25.034.000	177.921.000
İstanbul/İSKİ Tuzla AAT	11.546,7	7.025,6	15.000,0	8.854.000	88.000	8.000	10.006.000	18.957.000	143.008.000
İstanbul/İSKİ Ataköy AAT	9.347,7	5.711,4	10.000,0	7.805.000	78.000	8.000	7.887.000	15.780.000	113.691.000
Antalya/Hurma İleri Biyolojik AAT	7.373,4	4.502,2	8.000,0	7.805.000	78.000	8.000	7.817.000	15.710.000	112.763.000
Gaziantep/GASKİ 1 AAT	7.337,7	4.462,3	8.000,0	6.757.000	67.000	8.000	6.133.000	12.967.000	89.217.000
Bursa/BUSKİ Doğu AAT	5.726,4	3.501,1	6.000,0	7.805.000	78.000	8.000	6.608.000	14.500.000	96.702.000
Konya/KOSKİ Merkez AAT	6.195,8	3.771,9	6.000,0	4.427.000	44.000	8.000	4.819.000	9.299.000	69.126.000
İstanbul/Paşaköy AAT	4.499,4	2.751,0	5.000,0	4.427.000	44.000	8.000	4.670.000	9.150.000	67.140.000
Adana/Seyhan AAT	4.365,5	2.665,6	5.000,0	4.194.000	41.000	8.000	3.846.000	8.091.000	55.939.000
Denizli/Merkez AAT	3.590,8	2.195,4	4.000,0	4.194.000	41.000	8.000	4.073.000	8.318.000	58.960.000
Eskişehir/ESKİ Merkez AAT	3.819,6	2.325,3	4.000,0	3.378.000	33.000	8.000	3.206.000	6.627.000	46.513.000
Bursa/Yeşil Çevre A.Ş. AAT	2.996,9	1.829,9	3.000,0	3.378.000	33.000	8.000	3.137.000	6.558.000	45.600.000
Antalya/Alanya AAT	2.938,1	1.790,7	3.000,0	3.378.000	33.000	8.000	2.919.000	6.340.000	42.708.000
Sakarya/Karaman AAT	2.730,8	1.666,4	3.000,0	3.378.000	33.000	8.000	2.858.000	6.279.000	41.899.000
Kocaeli/İSU Gebze AAT	2.672,1	1.631,6	3.000,0	3.378.000	33.000	8.000	2.885.000	6.306.000	42.255.000
Mersin/Tarsus AAT	2.703,7	1.646,9	3.000,0	3.378.000	33.000	8.000	2.728.000	6.150.000	40.178.000
Bursa/BUSKİ Batı AAT	2.555,6	1.557,6	3.000,0	3.378.000	33.000	8.000	2.385.000	5.806.000	35.621.000
Mersin/Karaduvar AAT	2.222,4	1.361,7	3.000,0	3.378.000	33.000	8.000	2.287.000	5.708.000	34.320.000

Yukarıda verilen maliyet hesaplarında, kurutma için gerekli olan enerjinin elektrik enerjisinden sağlanacağı varsayımıyla maksimum maliyetler hesaplanmıştır. Ancak, İP 5 kapsamında sunulan literatür araştırması kısmında belirtildiği gibi kojenerasyon ünitelerinde üretilen ısı kullanarak, enerji maliyetlerini düşürmek mümkündür. Kojenerasyon üniteleri ile hem elektrik hem de ısıl ihtiyacın karşılanması mümkündür. Kojenerasyon ünitelerinde tek kaynak kullanılarak güç ve ısı birlikte üretilir. Bu sistemler güç ve ısı ihtiyacının karşılanmasında verimli, temiz ve güvenilir yaklaşımlardır. Birleşik üretim sayesinde işletim verimi artar, enerji maliyetleri ve sera gazı emisyonları azalır (EPA, 2011).

Proje kapsamında, tüm tesisler için atık ısı kullanımının mümkün olmayacağı da göz önünde bulundurularak, kojenerasyon ünitelerinin kullanılmasıyla termal kurutma maliyetlerinin azaltılmasının hangi mertebelerde olabileceği de incelenmiştir. Bu amaçla, maliyet hesabına kojenerasyon ünitelerinin yatırım, işletme ve bakım maliyetleri eklenmiş, bu ünitelerce üretilen termal ve elektrik enerjisi de hesaplanmıştır. Literatürde verilen aralıklar içerisinde yer almakta olan Tuzla AAT kojenerasyon ünitesinin işletim verimi; %50 termal enerji üretimi, %30 elektrik üretimi ve toplamda %80 toplam kojenerasyon verimi (Havelksy, 1999) hesaplamalarda esas olarak alınmıştır. Çamur kurutma için gereken termal enerji ihtiyacının kojenerasyon ünitelerinde üretilen ısı ile karşılanması üzerinden hesaplamalar yapılmıştır. Dolayısıyla önceden hesaplanan çamur kurutma için gerekli termal enerji miktarları, kojenerasyon ünitelerinde ısıl enerji olarak üretilecektir. Ancak, kojenerasyon ünitelerinin çalıştırılması için de enerjiye ihtiyaç vardır. Bu enerjinin doğalgazdan sağlanacağı varsayılmıştır. Yukarıda da belirtildiği gibi, ısıl enerji üretimi kojenerasyon tesislerinde %50'lik bir verime sahiptir. Yani kojenerasyon ünitelerinde kullanılacak olan doğalgazın %30'u elektriğe, %50'si de termal enerjiye çevrilecektir. Dolayısıyla, kurutma için ihtiyaç duyulan termal enerji, bu enerjinin iki katı kalorifik değere sahip doğalgazın yakılması ile sağlanırken bir miktar elektrik üretimi de gerçekleşecektir. Bu sayede doğalgazdan elde edilen verim toplamda %80 olacaktır.

Kojenerasyon ünitesinin kullanacağı yakıtının miktarı ve maliyeti, doğalgaza özgü enerji, ve maliyet değerleri sırasıyla 859,8 kcal/kWsaat, 0,00012m³/kcal ve 0,687 TL/m³ olarak belirlenmiştir. Kullanılacak doğalgazın enerji bazında %30'luk kısmı ise üretilen elektrik enerjisidir. Üretilen elektriğin çeşitli amaçlarda kullanımı veya çeşitli işletmelere satışı söz konusu olduğu için, elektrik üretimi toplam maliyet hesaplamalarına 0,18 TL/kWsaat katsayısı kullanılarak pozitif girdi olarak işlenmiştir.

Kojenerasyon ünitelerinin yatırım maliyetlerinin hesabında, literatürden elde edilen 1000 kW ve daha az elektrik üretimi yapan sistemlerdeki 4400 \$/kW ve 1000 kW üzerinde üretim yapanlarda 2200 \$/kW olan maliyet katsayıları kullanılmıştır (EPA, 2011). İşletme ve bakım maliyetleri ise 0,015 \$/kWh katsayısı ile hesaplanmıştır (ACWA, 2008). Döviz kuru 1,8 \$/TL olarak alındığında, tesislere kurulacak kojenerasyon ünitelerinin yatırım maliyetleri 34.841.000 TL ile 700 TL, birinci yıl sonunda işletme ve bakım maliyetleri ise 2.081.000 TL ile 20 TL aralığında değişmiştir.

Birinci yıl kojenerasyon ünitelerindeki elektrik üretimleri en yüksek 77.074.705,8 kWhsaat olarak hesaplanmıştır. Bunun karşılığı 13.873.000 TL'dir. En düşük elektrik üretiminin görüldüğü tesisteki üretim ise 881,6 kWhsaat'tir. Bunun karşılığı 100 TL'dir. Bu maliyetler üretilen elektriğin şebekeye satılabileceği düşünülürse toplam maliyetlerden düşülebilecek miktarları yansıtmaktadır. Bunların yanında, birinci yıl sonunda kojenerasyon ünitesinin çalıştırılabilmesi için gerekli doğalgaz tüketimlerine ait maliyetler 18.395.000 TL – 200 TL aralığında değişmektedir.

Yukarıda verilen maliyet kalemleri toplandığında, tüm çamur üretilen tesislerdeki kojenerasyonlu termal kurutmanın birinci yılı sonundaki toplam maliyetleri 65.004.000TL ile 164.500 TL arasında değişmiştir. 2040 yılına kadarki toplam maliyetler ise 149.263.000 TL ile 293.000 TL arasındadır. Kojenerasyon ve termal kurutma için birinci yıl ve 2040 yılına kadar olan maliyetler seçilmiş tesisler için Tablo 11.53'te verilmiştir. Tüm tesisler için elde edilen sonuçlar ise rapor ekinde sunulan EK F-X, Tablo F-X.3'te sunulmaktadır.

Kojenerasyonlu termal kurutma ile kojenerasyonsuz termal kurutma sistemleri karşılaştırıldığında, birinci yıl, yüksek yatırım maliyetlerinden dolayı kojenerasyonlu sistemlerin daha maliyetli olduğu görülmektedir. Ancak, 2040 yılına kadar olan toplam maliyetlere bakıldığında, kojenerasyonlu sistemlerde doğalgaz tüketim maliyetleri ve elektrik üretimi ile elde edilen tasarruflar göz önünde bulundurulduğunda kojenerasyonlu termal kurutma tesisleri kapasitelerine bağlı olarak %60 ile %0.7 arasında daha düşük maliyete sahiptir. Kojenerasyonlu tesislerin, yüksek çamur üretim kapasitesine sahip, yani kurutma için yüksek enerji tüketimi yapan tesislerde çok avantajlı olduğu görülmüştür. Kojenerasyonlu termal kurutma sistemlerinin, elektrik tüketimi yapan termal kurutma sistemlerine kıyasla yüksek kapasiteli tesislerde ortalama %40, düşük kapasiteli tesislerde ise %25 daha ucuz olduğu tespit edilmiştir.

Tablo 11.53: Kojenerasyon ve termal kurutma için birinci yıl ve 2040 yılına kadar olan maliyetler

Aritma tesisi	Kurutma için Kojenerasyon ile Üretilen Termal Enerji (kW)	Kojenerasyon ile Üretilen Elektrik Enerjisi (kW)	İhtiyaç Duyulan Doğalgaz Enerjisi (kW)	Birinci Yıl Doğalgaz Tüketimi (TL)	Birinci Yıl İşletme ve Bakım Maliyetleri (TL)	Kojenerasyon Ünitelerinin Yatırım Maliyetleri (TL)	Birinci Yıl Tasarruf Edilen Elektrik Enerjisi Tutarları (TL)	Birinci Yıl Termal Kurutma ve Kojenerasyon Toplam Maliyetleri (TL)	2040 Yılına Kadar Termal Kurutma ve Kojenerasyon Toplam Maliyetleri (TL)
İzmir/Çiğli AAT	14.664,1	8.798,5	29.328,3	18.395.000	2.081.000	34.841.000	13.873.000	65.004.000	149.263.000
Ankara/ASKİ Merkez AAT	7.090,7	4.254,4	14.181,4	8.894.000	1.006.000	16.847.000	6.708.000	32.765.000	73.729.000
Kayseri/KASKİ Merkez AAT	7.025,6	4.215,4	14.051,2	8.813.000	997.000	16.692.000	6.646.000	32.581.000	73.186.000
İstanbul/İSKİ Tuzla AAT	5.711,4	3.426,8	11.422,8	7.164.000	810.000	13.570.000	5.403.000	25.093.000	57.865.000
İstanbul/İSKİ Ataköy AAT	4.502,2	2.701,3	9.004,4	5.647.000	638.000	10.697.000	4.259.000	20.616.000	46.574.000
Antalya/Hurma İleri Biyolojik AAT	4.462,3	2.677,4	8.924,5	5.597.000	633.000	10.602.000	4.221.000	20.504.000	46.241.000
Gaziantep/GASKİ 1 AAT	3.501,1	2.100,7	7.002,3	4.392.000	496.000	8.318.000	3.312.000	16.728.000	37.023.000
Bursa/BUSKİ Doğu AAT	3.771,9	2.263,1	7.543,7	4.731.000	535.000	8.961.000	3.568.000	18.552.000	40.473.000
Konya/KOSKİ Merkez AAT	2.751,0	1.650,6	5.501,9	3.450.000	390.000	6.536.000	2.602.000	12.255.000	28.116.000
İstanbul/Paşaköy AAT	2.665,6	1.599,3	5.331,2	3.343.000	378.000	6.333.000	2.521.000	12.013.000	27.403.000
Adana/Seyhan AAT	2.195,4	1.317,2	4.390,8	2.754.000	311.000	5.216.000	2.077.000	10.449.000	23.210.000
Denizli/Merkez AAT	2.325,3	1.395,2	4.650,6	2.916.000	329.000	5.524.000	2.199.000	10.816.000	24.296.000
Eskişehir/ESKİ Merkez AAT	1.829,9	1.098,0	3.659,8	2.295.000	259.000	4.347.000	1.731.000	8.593.000	19.233.000
Bursa/Yeşil Çevre A.Ş. AAT	1.790,7	1.074,4	3.581,4	2.246.000	254.000	4.254.000	1.694.000	8.482.000	18.905.000
Antalya/Alanya AAT	1.666,4	999,8	3.332,7	2.090.000	236.000	7.918.000	1.576.000	12.090.000	21.826.000
Sakarya/Karaman AAT	1.631,6	978,9	3.263,1	2.046.000	231.000	7.753.000	1.543.000	11.909.000	21.452.000
Kocaeli/İSU Gebze AAT	1.646,9	988,1	3.293,8	2.065.000	233.000	7.826.000	1.558.000	11.988.000	21.617.000
Mersin/Tarsus AAT	1.557,6	934,6	3.115,2	1.953.000	221.000	7.401.000	1.473.000	11.524.000	20.659.000
Bursa/BUSKİ Batı AAT	1.361,7	817,0	2.723,4	1.708.000	193.000	6.470.000	1.288.000	10.505.000	18.556.000
Mersin/Karaduvar AAT	1.305,8	783,5	2.611,6	1.638.000	185.000	6.205.000	1.235.000	10.214.000	17.957.000

11.1.4.3. Güneşle Kurutma Sistemleri ile Çamur Kurutma için Gerekli Enerji Miktarlarının Hesaplanması

Termal kurutma sistemleri çok kısa sürede (30-60 dakika) %90 kuruluğa erişmeyi sağlamalarına rağmen bir önceki bölümde de gösterildiği gibi oldukça pahalı sistemlerdir. Kurutmanın en düşük maliyetle elde edilebileceği sistemlerden biri, bazı dezavantajlarına ve uzun kurutma sürelerine rağmen, çamur kurutma yataklarında doğal güneşlenme ile çamurun kurutulduğu sistemlerdir. Güneşle kurutma sistemlerinde kurutmayı etkileyen faktörlerin arasında rüzgar hızı, güneşlenme şiddeti, sıcaklık gibi meteorolojik faktörler yer almaktadır. Bu tür sistemlerde enerji gereksiniminin hesaplanmasından daha çok, istenilen kuruluk seviyesine ulaşmak için gerekli zaman ve ilgili bölgeye has buharlaşma hızı önem kazanmaktadır (Cofie vd., 2004). Bunlar istenilen kurutma seviyesine ulaşmak için gerekli yatak boyutlarını da etkilemektedir. Güneşlenme şiddeti ve süresi azaldıkça kurutma yataklarının çamur kurutma amaçlı kullanım potansiyelinde nispeten düşüş beklenmelidir.

Üstü Açık Kurutma Yataklarına İlişkin Denklemleri Kullanılarak Yapılan Hesaplamalar

Açık çamur kurutma yatakları için gereken alan iklim koşullarına bağlı olarak belirlenmelidir. EPA (1987), beton tabanlı çamur yataklarının toplam alanını belirlemek için denklem 11'de verilen hesaplamanın yapılması gerektiğini belirtmektedir.

$$A = \frac{1.04 * S * [(1 - s_d)/s_d - (1 - s_e)/s_e] + P * A * 1000}{10 * E_p * k_e} \quad (6)$$

Burada;

A = çamur kurutma yatağının toplam alanı (m²)

S = yıllık çamur üretimi (kuru madde bazında kg/yıl)

sd = drenaj (süzülme) sonrası çamur kuru madde oranı (%)

se = hedeflenen çamur kuru madde oranı (%)

P = yıllık yağış miktarı (m/yıl)

ke = çamurdaki suyun buharlaşma hızının sadece suyun buharlaşma hızına oranı (deneysel verinin olmadığı durumda 0,6 alınması önerilmiştir)

Ep = açık yüzey tava buharlaşma oranıdır (cm/yıl).

Meteoroloji Genel Müdürlüğü'nden il bazında temin edilen veriler ve denklem 11 kullanılarak, açık çamur kurutma yataklarında %50 ve %70 kuruluğa erişmek için ne kadar alana ihtiyaç olduğu hesaplanmıştır. Hesaplamalar il bazında uzun yıllar ortalama verileri (örneğin yağış, açık yüzey tava buharlaşma oranı) üzerinden yapılmıştır. Kalkınma Bakanlığı ile yapılan görüşmeler, il bazında güncel arazi fiyat veri tabanının bulunmadığı sonucunu ortaya çıkarmıştır. Bu nedenle, birim arazi fiyatları bir emlak sitesinde yer alan (<http://www.hurriyetemlak.com>) son bir yıla ait ortalama arazi satış fiyatları üzerinden belirlenmiştir. Tüm illere ait arazi verileri olmadığından, tüm iller için verisi bulunan 5 şehrin ortalama değeri olan 48 TL/m² değeri kullanılmıştır. Tablo 11.54'te ıslak çamur üretim miktarına göre en büyük yirmi arıtma tesisinde oluşan çamur miktarları (tüm tesisler için EK F-X, Tablo F-X.4'e bakınız), bazı yerel iklim koşulları, %50, 70 ve 90 kurutma için uzaklaştırılacak su miktarı ve Denklem 11'den hesaplanan gerekli alanlar verilmektedir. Üstü açık kurutma yataklarında sisteminin çalışma prensibi gereği, kurumakta olan çamurun suyu ve çamur üzerine düşen yağış sadece buharlaşma ile atılır, bu sebeple, hesaplanan yıllık buharlaşma potansiyeli yıllık yağış miktarından fazla ise çamurun kuruması mümkündür (EPA, 1987). Bu durumdaki tesisler için açık sistem kurutma ile gereken alanlar hesaplanmamıştır ve tesisler tabloda yıldızla işaretlenmiştir. Yine bazı tesislerin yer aldığı illerde yıllık ortalama değerler bazındaki buharlaşma miktarları ile yağış miktarları arasındaki farklar çok düşük olduğundan bu tesislerdeki çamur miktarları çok yüksek olmasa da kurutma için gerekli alanlar çok yüksek çıkmaktadır. Bu duruma örnek olarak Antalya, Bursa, Kocaeli, Kütahya ve Manisa illerindeki tesisler verilebilir. Tablo 11.54'ten görülebileceği gibi gerekli alanlar hedeflenen kuruluk yüzdesi ve buna bağlı olarak uzaklaştırılması gerekli olan su miktarı tarafından belirlenmektedir. İstenen kuruluk ve uzaklaştırılacak su miktarı arttıkça alanlar da doğrusal olarak artmaktadır. %50 kuruluk için hesaplanan alanlar yaklaşık 14 m² ile 763.062 m² arasında değişmektedir. Açık kurutma yataklarında çamurun %90 kuru madde oranına kadar kurutulması makul süreler içinde mümkün değildir. Bunun yanı sıra çamurun %70 kuruluk oranına kurutulmasının da sadece iklim koşullarının çok sıcak ve kurak olduğu yörelerde uzun bekletme süreleri ile mümkün olabileceği düşünülmektedir.

Tablo 11.55'te ıslak çamur üretim miktarına göre en büyük yirmi arıtma tesisinin %50 kuruluk oranı için açık kurutma yataklarının ilgili maliyetleri hesaplanmıştır. Benzer hesapların tüm tesisler için yapılmasıyla da EK F-X, Tablo F-X.5'te sunulan sonuçlar elde edilmiştir. Bu maliyet kalemleri arazinin satın alınma maliyeti (birim fiyatı yukarıda açıklandığı gibi 48 TL/m²), kurutma yatağının

inşaat maliyeti, işçilik ve bakım masrafı kalemlerinden oluşmaktadır. Açık kurutma yatakları için inşaat maliyetleri hesaplanırken, inşaat firmalarıyla yapılan görüşmeler sonucunda belirlenen 95 TL/m² değeri kullanılmıştır. Bu sistem için işçilik ücretleri EPA'nın dokümanında verilen metrekare başına 0,065 saat/yıl çalışma süresinden hesaplanmıştır. Bu sabitten bulunan değer kullanılarak günlük çalışma süresine ulaşılmış, bir işçinin yılın her günü, günde 8 saat çalışacağı ve bu iş için asgari ücret alacağı varsayımından da aylık toplam işgücü maliyeti hesaplanmıştır. Örneğin, 200.000 m²'lik bir alan için yıllık çalışma süresi 12977 saat, günlük çalışma süresi 36 saattir. 36 saatlik iş için en az 5 kişi gerekmektedir. Buradan aylık maliyet 3698,95 TL, yıllık maliyet ise 44387,4 TL olarak bulunur. Açık kurutma sistemleri için yıllık bakım maliyeti inşaat maliyetinin %0,5'i olarak alınmıştır (Van Haandel, 2007). Gerekli alanın hesaplanmasında, kurutma tesisinin 2040 yılına kadar çalışacağı düşünülmüş ve bu süreçteki nüfus artışını göz önünde bulundurmak için alanlar 1,23 katsayısı ile çarpılmıştır. Toplam maliyetler incelendiğinde ilk yılın maliyeti tesis boyutuna ve çamur kuruluşuna bağlı olarak yaklaşık 11.000 TL ile 110 milyon TL arasında yer almaktadır. Termal sistemle yapılan kurutma hesaplarındakine denk şekilde, 2040 yılına kadar olan net bugünkü değer hesaplanmasında yıllık enflasyon %7 kabul edilmiştir. Toplam maliyetler seçilmiş tesisler için Tablo 11.55'te, tüm tesisler için ise EK F-X, Tablo F-X.5'te verilmiştir. 2040 yılına kadar olan maliyetler yaklaşık 120.000 TL ile 116 milyon TL arasında yer almaktadır. İlk yıl için hesaplanan maliyetlerin en önemli bileşenin inşaat maliyeti, ikinci bileşenin ise arazinin satın alınmasına ait maliyet olduğu görülmektedir. Kurutma için büyük alanlar gerekmesi sebebi ile de arazi maliyeti inşaat maliyetine oldukça yakındır. Hesaplanan inşaat maliyetleri de gerekli alanlar temel alınarak hesaplandığı için büyük kapasiteli tesislerin yüksek alan gereksinimleri sebebiyle bu çok basit kurutma sistemi için bile yüksek maliyetlerle ortaya çıkabilmektedir.

Tablo 11.54: Seçilmiş Tesislerde Oluşan Çamur miktarları, Yerel İklim Koşulları, %50, 70 ve 90 Kurutma için Uzaklaştırılacak Su Miktarı ve Açık Yatak Güneşle Kurutma Sistemi için Gerekli Alanlar

AAT Adı	Kuru Madde (%)	Islak Çamur (kg/saat)	Açık Yüzey Buharlaşma Hızı (cm/yıl)	Yağış Miktarı (m/yıl)	Uzaklaştırılacak Su Miktarı (kg/saat)			Gerekli Alan (m ²)		
					%50 Kuruluk	%70 Kuruluk	%90 Kuruluk	%50 Kuruluk	%70 Kuruluk	%90 Kuruluk
İzmir/Çiğli AAT	22	25.900,5	147,6	0,672	14.582,0	17.815,9	19.612,5	715.238,8	873.858,1	961.980,0
Ankara/ASKİ Merkez AAT	26	13.222,6	140,0	0,396	6.452,6	8.386,9	9.461,5	152.178,8	197.796,9	223.140,2
Kayseri/KASKİ MerkezAAT	19	11.929,9	149,8	0,384	7.396,5	8.691,8	9.411,3	150.600,7	176.973,2	191.624,5
İstanbul/İSKİ Tuzla AAT	26	10.714,3	143,0	0,624	5.142,8	6.734,7	7.619,0	230.026,6	301.225,3	340.780,1
İstanbul/İSKİ Ataköy AAT	25	8.321,3	143,0	0,624	4.160,7	5.349,4	6.009,9	186.096,2	239.266,6	268.805,7
Antalya/Hurma İleri Biyolojik AAT	18	7.475,9	185,2	1,020	4.784,6	5.553,5	5.980,7	551.099,3	639.668,9	688.874,2
Gaziantep/GASKİ 1	27	6.667,7	166,4	0,552	3.067,2	4.095,9	4.667,4	71.947,1	96.078,4	109.484,7
Bursa/BUSKİ Doğu	20	6.492,8	127,2	0,684	3.895,7	4.637,7	5.050,0	515.339,2	613.499,0	668.032,3
Konya/KOSKİ MerkezAAT	27	5.239,1	170,4	0,312	2.410,0	3.218,3	3.667,3	35.542,1	47.463,1	54.085,9
İstanbul/Paşaköy AAT	25	4.926,7	143,0	0,624	2.463,4	3.167,2	3.558,2	110.180,4	141.660,6	159.149,5
Adana/Seyhan AAT	27	4.181,0	151,4	0,636	1.923,3	2.568,3	2.926,7	73.907,0	98.695,7	112.467,2
Denizli/Merkez AAT	20	4.002,7	130,3	0,552	2.401,6	2.859,1	3.113,2	109.436,5	130.281,5	141.862,1
Eskişehir/ESKİ MerkezAAT	25	3.382,2	163,8	0,264	1.691,1	2.174,3	2.442,7	24.648,9	31.691,5	35.604,0
Bursa/Yeşil Çevre A.Ş.	22	3.169,5	127,2	0,684	1.774,9	2.173,4	2.394,7	234.795,4	287.504,5	316.787,4
Antalya/Alanya AAT	24	3.035,1	185,2	1,020	1.578,3	1.994,5	2.225,8	181.789,1	229.733,5	256.369,2
Sakarya/Karaman	25	3.015,6	114,7	0,828	1.507,8	1.938,6	2.177,9	*	*	*
Kocaeli/İSU Gebze AAT	21	2.874,4	90,8	0,804	1.667,2	2.012,1	2.203,7	*	*	*
Mersin/Tarsus AAT	22	2.756,9	116,2	0,564	1.543,9	1.890,5	2.083,0	121.654,8	148.965,1	164.137,5
Bursa/BUSKİ Batı	30	2.717,1	127,2	0,684	1.086,8	1.552,6	1.811,4	143.772,3	205.389,0	239.620,5
Mersin/Karaduvar AAT	30	2.605,5	116,2	0,564	1.042,2	1.488,9	1.737,0	82.124,3	117.320,4	136.873,8

* Meteorolojik veriler ve iklim koşulları nedeniyle alan hesaplanamamaktadır (açıklama için bakınız metin)

Tablo 11.55: Seçilmiş Tesislerde Açık Yatak Kurutma Sistemi Kullanılarak Çamurun %50 Kuruluk Oranına Kadar Kurutulabilmesi için Gerekli Maliyetler

AAT Adı	Alan (m ²)	Alan Maliyeti (TL)	İnşaat Maliyeti (TL)	İlk Yılın İşçilik Maliyeti (TL)	İlk Yılın Bakım Maliyeti (TL)	İlk Yılın Toplam Maliyeti (TL)	2040 Yılına Kadar Toplam Maliyet (TL)
İzmir/Çiğli AAT	763.062	36.626.97	72.490.88	150.917	362.454	109.631.235	115.934.244
Ankara/ASKİ Merkez AAT	162.354	7.792.992	15.423.63	35.510	77.118	23.329.250	24.712.061
Kayseri/KASKİ Merkez AAT	160.670	7.712.176	15.263.68	35.510	76.318	23.087.687	24.460.679
İstanbul/İSKİ Tuzla AAT	245.407	11.779.53	23.313.65	53.265	116.568	35.263.018	37.348.174
İstanbul/İSKİ Ataköy AAT	198.539	9.529.883	18.861.22	44.387	94.306	28.529.802	30.232.636
Antalya/Hurma İleri Biol. AAT	587.948	28.221.48	55.855.02	124.285	279.275	84.480.068	89.434.844
Gaziantep/GASKİ 1 AAT	76.758	3.684.368	7.291.978	17.755	36.460	11.030.561	11.696.193
Bursa/BUSKİ Doğu AAT	549.796	26.390.22	52.230.65	115.407	261.153	78.997.447	83.620.735
Konya/KOSKİ Merkez AAT	37.919	1.820.093	3.602.267	8.877	18.011	5.449.249	5.779.381
İstanbul/Paşaköy AAT	117.547	5.642.278	11.167.00	26.632	55.835	16.891.754	17.904.263
Adana/Seyhan AAT	78.849	3.784.738	7.490.626	17.755	37.453	11.330.572	12.008.399
Denizli/Merkez AAT	116.754	5.604.180	11.091.60	26.632	55.458	16.777.877	17.785.757
Eskişehir/ESKİ Merkez AAT	26.297	1.262.257	2.498.216	8.877	12.491	3.781.841	4.044.198
Bursa/Yeşil Çevre A.Ş. AAT	250.495	12.023.73	23.796.98	53.265	118.985	35.992.969	38.107.796
Antalya/Alanya AAT	193.944	9.309.316	18.424.68	44.387	92.123	27.870.515	29.546.551
Sakarya/Karaman AAT	*	*	*	*	*	*	*
Kocaeli/İSU Gebze AAT	*	*	*	*	*	*	*
Mersin/Tarsus AAT	129.789	6.229.876	12.329.96	26.632	61.650	18.648.120	19.732.021
Bursa/BUSKİ Batı AAT	153.385	7.362.497	14.571.60	35.510	72.858	22.042.473	23.372.979
Mersin/Karaduvar AAT	87.615	4.205.537	8.323.459	17.755	41.617	12.588.368	13.317.321

* Meteorolojik veriler ve iklim koşulları nedeniyle alan hesaplanamamaktadır (açıklama için bakınız metin)

Üstü Kapalı Kurutma Yatakları için Yapılan Hesaplamalar

Bu kısımda yine yukarıda verilen denklem 11 kullanılmış, ancak formül kurutma yataklarının üzerinin kapatıldığı düşünülerek aşağıdaki şekilde değiştirilmiştir (denklem 12). Kapatma işleminin güneş geçirgenliğini engellemeyecek, ancak yağmur suyunun çamurun üzerine gelmesini engelleyecek bir malzeme (poliüretan) ile yapıldığı düşünülmüştür.

$$A = \frac{1.04 * (S) * \left[\frac{(1-S_d)}{S_d} - \frac{(1-S_e)}{S_e} \right]}{(10) * (k_e) * (E_p)} \quad (\text{Denklem 7})$$

Tablo 11.56'da, seçilmiş tesislerde oluşan çamur miktarları, bazı yerel iklim koşulları, %50, 70 ve 90 kurutma için uzaklaştırılacak su miktarları ve kapalı yatak güneşle kurutma sistemi için gerekli alanlar verilmektedir (tüm tesisler için verilen değerler EK F-X, Tablo F-X.6'da bulunmaktadır).

Gerekli alan hesaplamaları için sahanın 2040 yılına kadar işletileceği varsayılmıştır ve nüfus artışına bağlı olarak alanların 1,23 katsayısı ile çarpılması ile gerekli alanlar hesaplanmıştır. Açık sistemler için geçerli olduğu şekilde hedeflenen kuruluk ve uzaklaştırılması gereken su miktarları yükseldikçe gerekli alanlar da yükselmektedir. Örneğin en yüksek kapasiteli İzmir Çiğli tesisi için gerekli alan 184.045 m² iken en düşük kapasiteli Balıkesir Ocaklar tesisi için gerekli alan 3 m² olarak hesaplanmıştır. Kapalı kurutma sistemi kullanıldığında gerekli alanların açık sistemlere kıyasla dörtte bir ya da beşte bir miktarlarına düştüğü görülmüştür.

Kapalı kurutma yatakları için hesaplanan kurutma maliyetleri seçilmiş tesisler için Tablo 11.57’de, tüm tesisler için ise EK F-X, Tablo F-X.7’de verilmektedir. Burada da açık kurutma yataklarındaki alan, işçilik ve bakım maliyetlerinin hesabında kullanılan varsayımlar aynı şekilde kullanılmıştır. Sadece kurutma yatağının üzerinin kapatılmasından dolayı inşaat maliyetleri açık yatak sisteminden daha yüksek olmaktadır. Maliyetler hesaplanırken, açık yataklardaki 95 TL/m² maliyetinin üzerine, inşaat firmalarıyla yapılan görüşmeler sonucunda belirlenen 80 TL/m² çatı maliyeti eklenmiş, toplam maliyet kuruma alanının metrekaresi başına 175 TL’ye çıkmıştır.

Hesaplanan toplam maliyetler incelendiğinde ilk yılın maliyeti tesis boyutuna ve çamur kuruluşuna bağlı olarak yaklaşık 10.000 TL ile 41 milyon TL arasında yer almaktadır. Önceki sistemlerle yapılan kurutma hesaplarına denk şekilde, işletme maliyetlerine yıllık %7 enflasyon yansıtılarak 2040 yılına kadar olan net bugünkü değer hesapları da Tablo 11.57’de yer almaktadır. Bu maliyetler yaklaşık 119.000 TL ile 44 milyon TL arasında yer almaktadır. İlk yıl için hesaplanan maliyetlerin en önemli bileşenin inşaat maliyeti, ikinci bileşenin ise alanın satın alınmasına ait maliyet olduğu görülmektedir. Ancak açık kurutma yataklarından farklı olarak, alan (arazi) maliyet oranının görece düşük kaldığı, bununla birlikte kurutma yatağının üzerine çatının da dahil edilmesiyle inşaat maliyetinin daha yüksek olduğu görülmektedir. Ayrıca açık yatakta kurutmaya kıyaslandığında, kapalı yatakta kurutmada, hem ilk yıl maliyetlerinde, hem de 2040 yılına kadarki net bugünkü değerlerde ortalama %65 miktarında bir düşüş gözlenmiştir. Ancak, üstü açık kurutma yataklarına benzer olarak, bu sistemlerde de çamurun 90% kuruluşu gelmesi mümkün değildir. %70 kuruluk ise ancak sıcak ve kurak iklim koşullarında ve uzun sürelerde sağlanabilir.

Tablo 11.56: Seçilmiş Tesislerde Oluşan Çamur Miktarları, Yerel İklim Koşulları, %50, 70 ve 90 Kurutma için Uzaklaştırılacak Su miktarı ve Kapalı Yatak Güneşle Kurutma Sistemi için Gerekli Alanlar

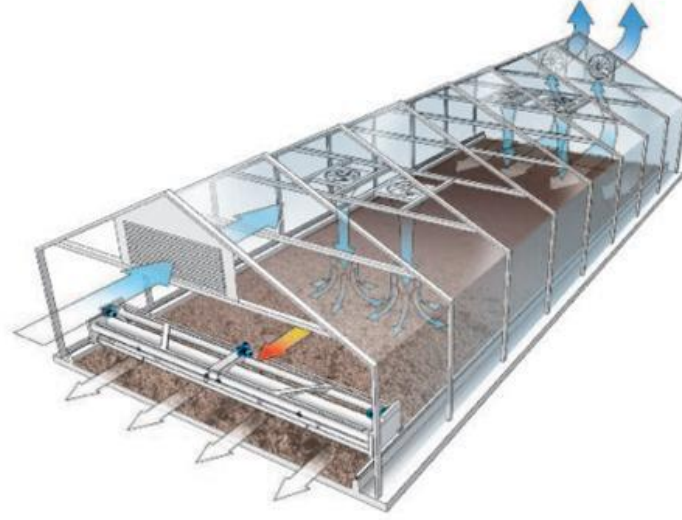
AAT Adı	Kuru Madde (%)	Islak Çamur (kg/saat)	Açık Yüzey Buharlaşma Hızı (cm/yıl)	Yağış Miktarı (m/yıl)	Uzaklaştırılacak Su Miktarı (kg/saat)			Gerekli Alan (m ²)		
					%50 Kuruluk	%70 Kuruluk	%90 Kuruluk	%50 Kuruluk	%70 Kuruluk	%90 Kuruluk
İzmir/Çiğli AAT	22	25.900,5	147,6	0,672	14.582,0	17.815,9	19.612,5	172.510	210.768	232.022
Ankara/ASKİ Merkez AAT	26	13.222,6	140,0	0,396	6.452,6	8.386,9	9.461,5	80.458	104.576	117.976
Kayseri/KASKİ MerkezAAT	19	11.929,9	149,8	0,384	7.396,5	8.691,8	9.411,3	86.241	101.344	109.734
İstanbul/İSKİ Tuzla AAT	26	10.714,3	143,0	0,624	5.142,8	6.734,7	7.619,0	62.781	82.214	93.009
İstanbul/İSKİ Ataköy AAT	25	8.321,3	143,0	0,624	4.160,7	5.349,4	6.009,9	50.791	65.303	73.365
Antalya/Hurma İleri Biyolojik AAT	18	7.475,9	185,2	1,020	4.784,6	5.553,5	5.980,7	45.121	52.373	56.402
Gaziantep/GASKİ 1	27	6.667,7	166,4	0,552	3.067,2	4.095,9	4.667,4	32.178	42.971	48.967
Bursa/BUSKİ Doğu	20	6.492,8	127,2	0,684	3.895,7	4.637,7	5.050,0	53.479	63.665	69.324
Konya/KOSKİ MerkezAAT	27	5.239,1	170,4	0,312	2.410,0	3.218,3	3.667,3	24.696	32.979	37.581
İstanbul/Paşaköy	25	4.926,7	143,0	0,624	2.463,4	3.167,2	3.558,2	30.072	38.664	43.437
Adana/Seyhan AAT	27	4.181,0	151,4	0,636	1.923,3	2.568,3	2.926,7	22.176	29.614	33.746
Denizli/Merkez AAT	20	4.002,7	130,3	0,552	2.401,6	2.859,1	3.113,2	32.179	38.309	41.714
Eskişehir/ESKİ MerkezAAT	25	3.382,2	163,8	0,264	1.691,1	2.174,3	2.442,7	18.028	23.179	26.040
Bursa/Yeşil Çevre A,Ş,	22	3.169,5	127,2	0,684	1.774,9	2.173,4	2.394,7	24.366	29.835	32.874
Antalya/Alanya AAT	24	3.035,1	185,2	1,020	1.578,3	1.994,5	2.225,8	14.884	18.810	20.990
Sakarya/Karaman	25	3.015,6	114,7	0,828	1.507,8	1.938,6	2.177,9	22.950	29.508	33.150
Kocaeli/İSU Gebze AAT	21	2.874,4	90,8	0,804	1.667,2	2.012,1	2.203,7	32.047	38.677	42.360
Mersin/Tarsus AAT	22	2.756,9	116,2	0,564	1.543,9	1.890,5	2.083,0	23.208	28.418	31.313
Bursa/BUSKİ Batı	30	2.717,1	127,2	0,684	1.086,8	1.552,6	1.811,4	14.920	21.314	24.866
Mersin/Karaduvar AAT	30	2.605,5	116,2	0,564	1.042,2	1.488,9	1.737,0	15.667	22.381	26.112

Tablo 11.57: Seçilmiş Tesislerde Kapalı Yatak Güneş Kurutma Sistemi Kullanılarak Çamurun %50 Kuruluk Oranına Kadar Kurutulabilmesi için Gerekli Maliyetler

AAT Adı	Alan (m ²)	Alan Maliyeti (TL)	İnşaat Maliyeti (TL)	İlk Yılın İşçilik Maliyeti (TL)	İlk Yılın Bakım Maliyeti (TL)	İlk Yılın Toplam Maliyeti (TL)	2040 Yılına Kadar Toplam Maliyet
İzmir/Çiğli AAT	184.045	8.834.148	32.207.833	44.387	161.039	41.247.408	43.769.568
Ankara/ASKİ Merkez AAT	85.838	4.120.202	15.021.571	17.755	75.108	19.234.636	20.374.776
Kayseri/KASKİ Merkez AAT	92.008	4.416.375	16.101.366	26.632	80.507	20.624.879	21.940.300
İstanbul/İSKİ Tuzla AAT	66.979	3.214.995	11.721.336	17.755	58.607	15.012.692	15.950.235
İstanbul/İSKİ Ataköy AAT	54.187	2.600.997	9.482.802	17.755	47.414	12.148.968	12.949.091
Antalya/Hurma İleri Biyolojik AAT	48.138	2.310.638	8.424.201	17.755	42.121	10.794.715	11.529.852
Gaziantep/GASKİ 1	34.330	1.647.827	6.007.703	8.877	30.039	7.694.446	8.172.244
Bursa/BUSKİ Doğu	57.054	2.738.609	9.984.510	17.755	49.923	12.790.796	13.621.719
Konya/KOSKİ Merkez AAT	26.347	1.264.666	4.610.760	8.877	23.054	5.907.357	6.299.399
İstanbul/Paşaköy	32.082	1.539.951	5.614.403	8.877	28.072	7.191.303	7.644.957
Adana/Seyhan AAT	23.659	1.135.621	4.140.286	8.877	20.701	5.305.486	5.668.646
Denizli/Merkez AAT	34.331	1.647.884	6.007.909	8.877	30.040	7.694.709	8.172.520
Eskişehir/ESKİ Merkez AAT	19.233	923.189	3.365.793	8.877	16.829	4.314.688	4.630.304
Bursa/Yeşil Çevre A.Ş.	25.995	1.247.746	4.549.075	8.877	22.745	5.828.445	6.216.700
Antalya/Alanya AAT	15.879	762.202	2.778.860	8.877	13.894	3.563.833	3.843.417
Sakarya/Karaman	24.485	1.175.269	4.284.836	8.877	21.424	5.490.407	5.862.441
Kocaeli/İSU Gebze AAT	34.189	1.641.088	5.983.134	8.877	29.916	7.663.015	8.139.305
Mersin/Tarsus AAT	24.760	1.188.482	4.333.007	8.877	21.665	5.552.031	5.927.022
Bursa/BUSKİ Batı	15.917	764.033	2.785.536	8.877	13.928	3.572.374	3.852.368
Mersin/Karaduvar AAT	16.714	802.296	2.925.037	8.877	14.625	3.750.836	4.039.394

Sera Tipi Güneşle Kurutma Sistemi için Yapılan Hesaplamalar

Sera tipi güneşle kurutma sistemleri, sera benzeri bir yapıda olan, üstü ve etrafı kapalı, vantilatörler yardımıyla içerisindeki havanın devamlı sirküle edildiği ve tazelendiği, çamurun düzenli aralıklara bir mekanik karıştırıcı sistem ile karıştırıldığı, sistemin tavan ve duvarlarının güneş geçirgenliğine sahip olduğu dolayısı ile güneşin radyasyon enerjisinden faydalanılarak çamurun kurutulduğu bir sistemdir (Seginer, 2007). Bu sistemin genel yapısı Şekil 11.72'de gösterilen çizime ve fotoğraflara benzemektedir.



Şekil 11.72: Huber Güneş Kurutma Sistemi (Üstte ve Ortada); İspanya’da Kullanılmakta olan Güneş Kurutma Yataklarının Panoramik Görüntüsü (Altta) (Scharenberg ve Popke, 2010)

Türkiye’de sera tipi güneşle kurutma sistemlerinin örnekleriyle artık karşılaşmak mümkündür. Muğla’nın Fethiye ilçesine bağlı Fethiye Atıksu Arıtma Tesisi’nde oluşan çamurları %50 kuruluğa ulaştırmak için sera tipi güneşle kurutma ünitesi kurulmuştur. Bu tesisten görüntüler Şekil 11.73’te verilmiştir.



Şekil 11.73: Fethiye solar kurutma ünitesinden görüntüler (Nisan, 2013)

Seginer v.d.'nin (2007) çalışmasında, bir sera tipi güneşle kurutma sisteminin çamur kurutma potansiyelinin belirlenmesi için ampirik bir model geliştirilmiştir. Bu sistem için geliştirilen ampirik model, denklem 13'de verildiği gibidir. Bu ampirik formül ile her tesis için ayrı ayrı buharlaşma oranı hesaplanmıştır. Ayrıca her tesis çamurunu %50, 70 ve 90 kuruluğa getirmek için uzaklaştırılması gereken su miktarları ve bahsi geçen kuruluk değerlerine ulaşmak için gereken alanlara ulaşılmıştır. Buharlaşma hızı aşağıdaki formül ile hesaplanmıştır.

$$E = (\rho * Q_v * 1.962 * 10^{-11}) * [(R_o + 1100)^{2.322} * (T_o + 13)^{1.292} * (Q_v)^{-0.577} * (Q_m + 0.0001)^{0.013} * (\sigma + 0.26)^{-0.353}] \quad (13)$$

Burada;

E = Buharlaşma hızı (kg su/m²/saat)

ρ = Hava yoğunluğu (1.13 kg/m³)

Q_v = Havalandırma oranı (m/saat)

R_o = Güneş radyasyonu (W/m²)

T_o = hava sıcaklığı (°C)

Q_m = Hava karıştırma oranı (m³ hava/m² alan/saat)

σ = Kuru madde miktarıdır (kg katı/kg ıslak çamur)

Tablo 11.58'de %23 arttırılmış ıslak çamur üretim miktarına göre en büyük yirmi arıtma tesisinde oluşan çamur miktarları, hesaplanan buharlaşma hızı değerleri ve çamurların %50, 70 ve 90 kuruluğa getirilebilmesi için uzaklaştırılması gereken su miktarı ile gerekli alanlar gösterilmektedir (tüm tesisler için EK F-X, Tablo F-X.8'e bakınız). Burada da %70 kuruluk temel alınırsa gerekli alanların 1m² ile 50.000 m² arasında değiştiği görülmektedir. Bu değerler gerek açık gerekse kapalı çamur kurutma yataklarında hesaplanan alanlara kıyasla çok daha düşüktür. Bu farkın en önemli gerekçesi hem bir kapalı sistemin kullanılması hem de güneşle kurutmaya yardımcı olacak havalandırma ve karıştırma mekanizmalarının kullanılmasıdır.

Tablo 11.58: Buharlaşma Hızına ve Uzaklaştırılacak Su Miktarına Bağlı İhtiyaç Duyulan Alanlar

AAT Adı	Kuru madde oranı (%)	Islak çamur üretimi (kg/saat)	Buharlaşma hızı (kg su/m ² . saat)	Uzaklaştırılacak su miktarı (kg/saat)			Kurutma için gereken kurutma alanı (m ²)		
				%50 kuruluk için	%70 kuruluk için	%90 kuruluk için	%50 kuruluk için	%70 kuruluk için	%90 kuruluk için
İzmir/Çiğli AAT	22	25.901	0,35	14.582	17.816	19.612	41.208	50.347	55.424
Ankara/ASKİ Merkez AAT	26	13.223	0,25	6.453	8.387	9.462	25.470	33.105	37.347
Kayseri/KASKİ Merkez AAT	19	11.930	0,25	7.397	8.692	9.411	29.993	35.245	38.163
İstanbul/İSKİ Tuzla AAT	26	10.714	0,28	5.143	6.735	7.619	18.064	23.656	26.762
İstanbul/İSKİ Ataköy AAT	25	8.321	0,29	4.161	5.349	6.010	14.520	18.669	20.973
Antalya/Hurma İleri Biyolojik AAT	18	7.476	0,38	4.785	5.554	5.981	12.728	14.773	15.910
Gaziantep/GASKİ 1 AAT	27	6.668	0,29	3.067	4.096	4.667	10.571	14.117	16.087
Bursa/BUSKİ Doğu AAT	20	6.493	0,29	3.896	4.638	5.050	13.601	16.192	17.631
Konya/KOSKİ Merkez AAT	27	5.239	0,26	2.410	3.218	3.667	9.346	12.481	14.223
İstanbul/Paşaköy AAT	25	4.927	0,29	2.463	3.167	3.558	8.593	11.049	12.413
Adana/Seyhan AAT	27	4.181	0,35	1.923	2.568	2.927	5.541	7.400	8.432
Denizli/Merkez AAT	20	4.003	0,31	2.402	2.859	3.113	7.738	9.212	10.031
Eskişehir/ESKİ Merkez AAT	25	3.382	0,23	1.691	2.174	2.443	7.344	9.443	10.609
Bursa/Yeşil Çevre A,ř, AAT	22	3.170	0,28	1.775	2.173	2.395	6.291	7.703	8.487
Antalya/Alanya AAT	24	3.035	0,36	1.578	1.995	2.226	4.392	5.551	6.194
Sakarya/Karaman AAT	25	3.016	0,28	1.508	1.939	2.178	5.444	7.000	7.864
Kocaeli/İSU Gebze AAT	21	2.874	0,28	1.667	2.012	2.204	5.997	7.238	7.927
Mersin/Tarsus AAT	22	2.757	0,38	1.544	1.890	2.083	4.058	4.969	5.475
Bursa/BUSKİ Batı AAT	30	2.717	0,27	1.087	1.553	1.811	4.067	5.811	6.779
Mersin/Karaduvar AAT	30	2.606	0,36	1.042	1.489	1.737	2.893	4.133	4.822

Sera tipi güneşle kurutma sistemi için maliyet hesaplamalarında kullanılan varsayımlar, termal kurutma ve EPA açık/kapalı kurutma sistemlerine paralellik göstermektedir. Toplam maliyetler, kurulum maliyeti, vantilatörleri çalıştırmak için kullanılacak elektrik enerjisi maliyeti, çalıştırılacak personel giderleri ve işletme onarım-bakım maliyetleri olarak hesaplanmıştır. Hesaplamalarda tesisin 2040 yılına kadar çalışacağı varsayılarak ve bu sürede çamur miktarının (ve çamurdan uzaklaştırılması gereken suyun) nüfus artısına bağlı olarak yukarıda açıkladığı şekilde %23 oranında artacağı düşünülerek ilk yıl için hesaplanan alanlar

1,23 güvenlik katsayısıyla çarpılarak genişletilmiştir. Huber firması (Almanya) ile yapılan yazışmalarda, kurulum maliyetinin (tesisin temeli, vantilatör, sera kaplama, elektrikli karıştırıcı makine, montaj, başlatma vb dahil) metre kare başına 400 Euro olduğu belirtilmiştir. Ayrıca Bux ve Baumann (2003)'nin çalışmasından benzer bir tesis için ilk yatırım maliyeti de 360 Euro/m² olarak hesaplanmıştır. Kurutma sistemleri kuran Wandewolf firmasıyla yapılan yazışmalarda kurulum maliyetinin metrekare başına 200-300 Euro olduğu belirtilmiştir. Çalışmamızda 250 Euro/m²değeri ilk yatırım maliyetinin hesaplanmasında kullanmıştır. İşletme maliyetleri elektrik, personel giderleri ve bakım maliyetinden oluşmaktadır. Elektrik giderleri için Wandewolf, uzaklaştırılacak 1 ton su başına harcanacak enerji miktarının 15 ile 25 kWh arasında değiştiğini belirtmiştir. Bu çalışmada yıllık harcanacak enerji miktarı 15kWh olarak kabul edilmiş ve ortalama elektrik maliyeti 0,18TL/kWh olarak kabul edilmiştir. Bux ve Baumann (2003)'in çalışmasındaki elektrik ve personel maliyetlerinden yola çıkarak, personel sayısı öngörölmüş ve her bir personelin asgari ücretle çalıştırılacağı kabul edilmiştir. Bakım maliyetlerinin kurulum giderlerinin %1'i olduğu (Van Haandel, 2007) ve 2040 yılına kadar net bugünkü değer hesabı yapılırken yıllık enflasyonun %7 olduğu kabul edilmiştir. Hesaplanan maliyetler seçilmiş tesisler için Tablo 11.59'da özetlenmektedir (tüm tesisler için EK F-X, Tablo F-X.9'a bakınız).

Yapılan hesaplara göre ilk yıl sonunda maliyetler yaklaşık 40 milyon TL ile 10.000 TL arasında değişmektedir. 2040 yılına kadarki net bugünkü değerler ise 50 milyon TL ile 118.000 TL arasında yer almaktadır. Değerler incelendiğinde ilk yılın toplam maliyetinin %90'ından fazlasını sistemin kurulum maliyetinin oluşturduğu görölmektedir. Örneğin İzmir tesisi için bu oran %93,4'tür. Ancak 2040 yılına kadarki net bugünkü değerlerde sistemin işletim maliyeti düşük olduğundan uzun vadede sera tipi güneşle kurutmanın tercih edilebilir bir sistem oluşturacağı değerlendirilmektedir.

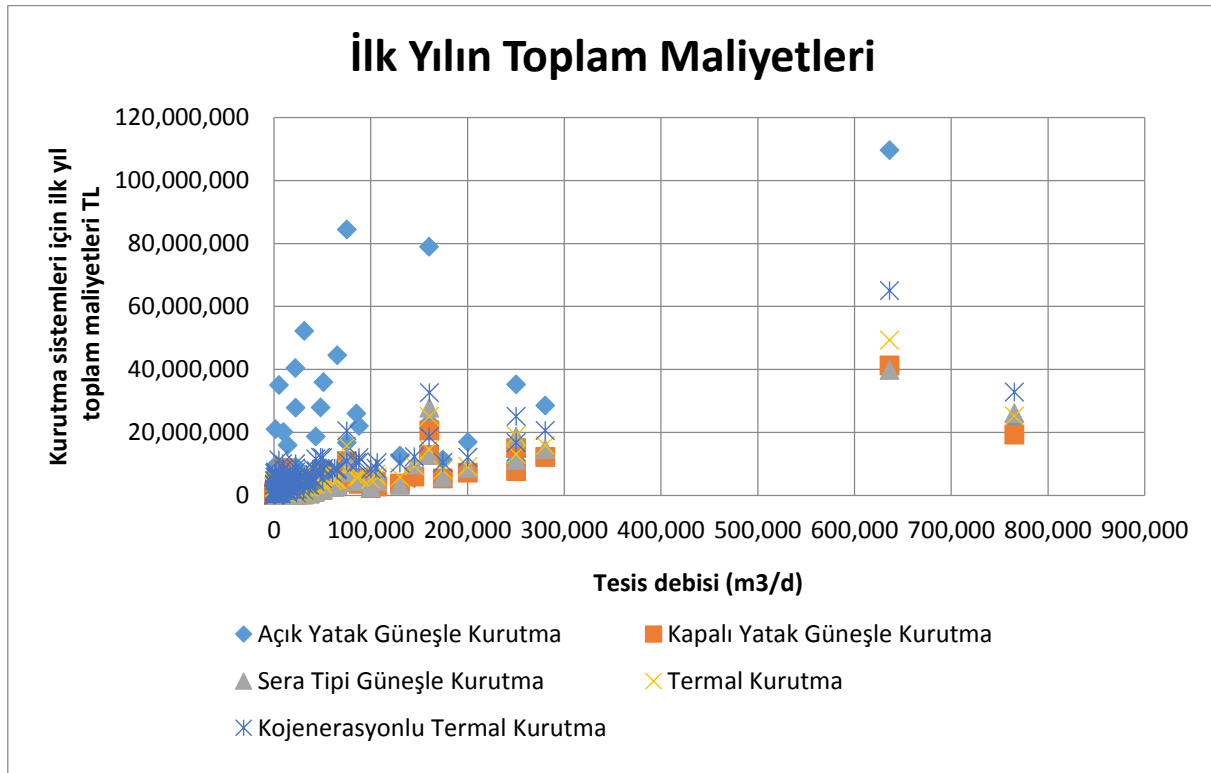
Sera tipi güneşle kurutma sistemleri maliyet açısından EPA kapalı yatak kurutma sistemelerine oldukça yakındır. Ancak unutulmamalıdır ki sera tipi güneşle kurutma sistemleri kontrollü sistemlerdir. İstenilen kuruluk miktarına göre dizayn edilir ve buna bağlı olarak da kapladıkları alanlar EPA kapalı yatak kurutma sistemlerine göre daha azdır. Ayrıca, kullanılan vantilatör sayısı ve gücüne bağlı olarak çamur kuruluk oranı %50'den daha yüksek bir değere erişilebilir. Buna ek olarak, sera tipi güneşle kurutma sistemleri modifiye edilebilme özelliğine sahiptir. Elektrikle çalışan ısı pompaları yardımıyla, alttan ısıtma sağlanabilir ve böylece soğuk iklimli bölgelerde de kullanılabilceği gibi, %70'den daha yüksek kuruluğa da ulaşılabilir.

Tablo 11.59: Sera Tipi Güneşle Kurutma Sistemi Kullanılarak Çamurun %70 Kuruluk Oranına Kadar Kurutulabilmesi için Gerekli Maliyetler

Arıtma tesisi	Alan (m ²)	Alan maliyeti (TL)	Kurulum maliyeti (TL)	İlk Yılın Personel giderleri (TL)	İlk Yılın Elektrik giderleri (TL)	İlk Yılın Bakım maliyetleri (TL)	İlk Yılın Toplam Maliyeti (TL)	2040 Yılın Toplam Maliyeti (TL)
İzmir/Çiğli AAT	61.770	2.964.953	35.980.945	71.020	421.381	359.809	39.798.108	50.261.267
Ankara/ASKİ Merkez AAT	40.616	1.949.583	23.658.998	44.387	198.367	236.590	26.087.925	31.973.161
Kayseri/KASKİ Merkez AAT	43.242	2.075.616	25.188.461	53.265	205.578	251.885	27.774.804	34.045.346
İstanbul/İSKİ Tuzla AAT	29.023	1.393.096	16.905.805	35.510	159.289	169.058	18.662.758	23.130.071
İstanbul/İSKİ Ataköy AAT	22.904	1.099.416	13.341.865	26.632	126.525	133.419	14.727.857	18.246.342
Antalya/Hurma İleri Biyolojik AAT	18.125	870.013	10.557.970	26.632	131.352	105.580	11.691.547	14.927.508
Gaziantep/GASKİ 1 AAT	17.320	831.360	10.088.900	26.632	96.876	100.889	11.144.658	13.899.735
Bursa/BUSKİ Doğu AAT	19.866	953.555	11.571.786	26.632	109.691	115.718	12.777.382	15.871.865
Konya/KOSKİ Merkez AAT	15.313	735.029	8.919.882	17.755	76.119	89.199	9.837.983	12.085.688
İstanbul/Paşaköy AAT	13.556	650.672	7.896.170	17.755	74.910	78.962	8.718.469	10.825.651
Adana/Seyhan AAT	9.079	435.774	5.288.301	17.755	60.746	52.883	5.855.460	7.468.554
Denizli/Merkez AAT	11.302	542.502	6.583.492	17.755	67.623	65.835	7.277.207	9.133.745
Eskişehir/ESKİ Merkez AAT	11.585	556.094	6.748.437	17.755	51.426	67.484	7.441.196	9.119.129
Bursa/Yeşil Çevre A.Ş. AAT	9.451	453.629	5.504.981	17.755	51.405	55.050	6.082.820	7.607.823
Antalya/Alanya AAT	6.810	326.883	3.966.862	8.877	47.174	39.669	4.389.465	5.564.692
Sakarya/Karaman AAT	8.588	412.212	5.002.364	17.755	45.852	50.024	5.528.206	6.923.321
Kocaeli/İSU Gebze AAT	8.880	426.234	5.172.529	17.755	47.590	51.725	5.715.833	7.153.180
Mersin/Tarsus AAT	6.096	292.630	3.551.192	8.877	44.713	35.512	3.932.926	5.026.902
Bursa/BUSKİ Batı AAT	7.129	342.189	4.152.604	8.877	36.723	41.526	4.581.919	5.651.626
Mersin/Karaduvar AAT	5.071	243.388	2.953.611	8.877	35.215	29.536	3.270.627	4.174.614

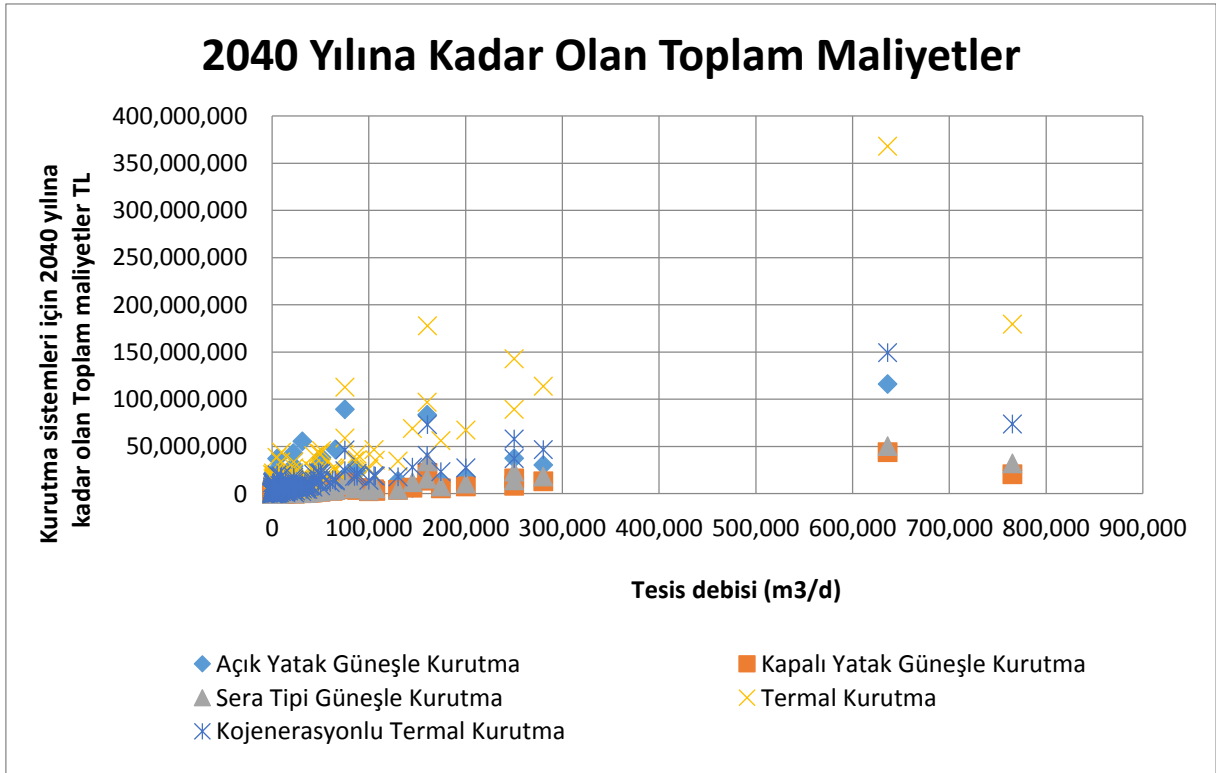
• %50 kuruluğa ulaşmak için gereken maliyet değerleri için EK F-X, Tablo F-X.10; %90 kuruluk için EK F-X, Tablo F-X.11'e bakınız.

Şekil 11.74'te tüm arıtma tesisleri için beş farklı kurutma alternatiflerinin tesis debilerine göre karşılaştırmasını içermektedir. Şekil 11.74'te görüldüğü gibi, bazı tesislerde açık yatakla kurutma seçeneği ilk yıl için diğer sistemlerden daha maliyetlidir. Daha önceden de bahsedildiği gibi açık yatakla kurutma sistemlerinin verimli işletilmesi için tesisin bulunduğu ilde buharlaşma potansiyelinin yağış miktarından yüksek olması ve aralarındaki farkın da büyük olması gerekmektedir. Açık kurutma sistemlerinin yukarıda bazı tesisler için çok maliyetli görünmesinin sebebi, bu tesislerin buldukları illerde buharlaşma potansiyeli ve yağış miktarları arasındaki farkın küçük olmasıdır. Bu durum kurutma için gerekli olan alan ihtiyacını artırmakla beraber maliyetlerin yüksek çıkmasını da açıklamaktadır. Birinci yıl toplam maliyetlerine bakıldığında, kojenerasyonlu termal kurutma sistemlerinin elektrik tüketimi yapan termal kurutma sistemlerinden daha maliyetli olduğu da gözlenmektedir. Bu durum kojenerasyon ünitesinin yatırım maliyetinden kaynaklanmaktadır. Bu karşılaştırmada farklı kurutma seçenekleri için ulaşılabilecek maksimum kuru madde oranının farklı olduğu da unutulmamalıdır.



Şekil 11.74: Tüm tesisler için farklı kurutma sistemlerinin birinci yıl toplam maliyetleri

Şekil 11.75 benzer bir karşılaştırmayı 2040 yılına kadar olan net bugünkü değer üzerinden göstermektedir. Şekil 11.75 incelendiğinde, sistem işletmesi için gerekli olan enerji maliyetlerinin düşük veya sıfır olduğu açık yatak, kapalı yatak ve sera tipi güneşle kurutma seçeneklerinin kojenerasyonlu ve kojenerasyonsuz termal kurutma seçeneklerinden genel anlamda daha az olduğu gözlenmektedir. Ayrıca kojenerasyonlu termal kurutma sistemlerinin de normal termal kurutma sistemlerinden çok daha az maliyetli olduğu tespit edilmiştir. Bunun sebebi önceden de bahsedildiği gibi, kojenerasyon ünitelerinde doğalgaz kullanılarak üretilen ısı ve elektrik enerjilerinden faydalanarak ihtiyaç duyulan enerjinin daha ucuza üretilmesindedir. Ayrıca birinci yıl toplam maliyetlerinin aksine 2040 yılına kadar olan maliyetlere bakıldığında, küçük debili tesislerde tüm sistemlerin toplam maliyetleri birbirine yakın iken debinin yüksek olduğu tesislerde bu maliyetler arasındaki fark açılmaktadır. Bunun başlıca nedeni debinin artmasıyla beraber kurutma için ihtiyaç duyulan enerji miktarlarının artmasıdır. Uzun vadede bakıldığında, yüksek enerji tüketimine sahip sistemlerin yüksek debili tesisler için maliyetli olduğu açıkça söylenebilir. Maliyet bazında yapılan karşılaştırmalar sırasında kurutma sistemlerinin hedef kuru madde oranlarının farklı olduğu da unutulmamalıdır.



Şekil 11.75: Tüm tesisler için farklı kurutma sistemlerinin 2040 yılına kadar olan toplam maliyetleri

11.1.5. TESİSLER İÇİN OPTİMUM KURUTMA SİSTEMİNİN OPTİMİZASYON MODELİ İLE SEÇİLMESİ

Tesislerde üretilen çamurların kurutulması için farklı kurutma alternatifleri arasında seçim yapmaya yönelik optimizasyon modelleri geliştirilmiştir. Optimizasyon, seçimin en düşük maliyetler bazında yapılırken sistem kısıtlarının da göz önünde bulundurulmasına yardımcı olmaktadır. Örneğin bir tesis için açık yatak güneşle kurutma maliyeti en düşük olmasına rağmen, istenilen kuruluğa ulaşmak için gerekecek alan temin edilemeyecek kadar büyük olabilir. Optimizasyon yaklaşımı, seçimlerin bu tür kısıtların da göz önüne alınmasıyla yapılmasına olanak sağlamaktadır. Böylece daha pahalı ancak o tesis için sistem kısıtlarına göre daha uygun kurutma sistemlerinin seçimine olanak sağlanmıştır. Geliştirilen optimizasyon modelinin çözümünde Excel Solver programı kullanılmıştır. Optimizasyon modeli ve sonuçlar aşağıda verildiği gibidir.

Geliştirilen optimizasyon modeli bir tesis için sistem kısıtlarını aşmayan en düşük maliyetli kurutma alternatifinin seçilmesini amaçlamaktadır. Maliyet hesaplamalarında önceki bölümlerde verilen maliyet kalemleri göz önünde bulundurulmuştur. Model ikili tamsayı doğrusal optimizasyon modeli olarak tasarlanmıştır. Buna göre karar değişkenlerini 0 veya 1 değerlerini alan ikili tamsayı değişkenleri (I_i , $i=1, \dots, 5$) oluşturmaktadır. Optimizasyon modelinin hedef fonksiyonu ve sistem kısıtları aşağıda verildiği gibidir. Model her tesis için ayrı ayrı çalıştırılmıştır. Bir tesis için aşağıdaki karar değişkenleri kullanılmıştır.

I_1 : Açık kurutma yatağı kullanma indikatörü (0 = hayır, 1 = evet)

I_2 : Kapalı kurutma yatağı kullanma indikatörü (0 = hayır, 1 = evet)

I_3 : Sera tipi kurutucu kullanma indikatörü (0 = hayır, 1 = evet)

I_4 : Termal kurutucu kullanma indikatörü (0 = hayır, 1 = evet)

I_5 : Kojenerasyonlu termal kurutucu kullanma indikatörü (0 = hayır, 1 = evet)

11.1.5.1. Optimizasyon hedef fonksiyonu

$$\text{Min } Z = I_1 * C_1 + I_2 * C_2 + I_3 * C_3 + I_4 * C_4 + I_5 * C_5$$

Burada;

C_1 : Açık kurutma yatağının 2040 yılına kadar toplam maliyeti (TL),

C_2 : Kapalı kurutma yatağının 2040 yılına kadar toplam maliyeti (TL),

C₃ : Sera tipi kurutucunun 2040 yılına kadar toplam maliyeti (TL),

C₄ : Termal Kurutucunun 2040 yılına kadar toplam maliyeti (TL),

C₅ : Kojenerasyonlu termal kurutucunun 2040 yılına kadar toplam maliyeti (TL),

Z : Bir tesis için 2040 yılına kadar toplam kurutma maliyetidir (TL).

11.1.5.2.Sistem Kısıtları

- Nüfus

Eşdeğer nüfusları 1.000.000 ve üzeri tesisler %90 katı madde oranına kadar kurutmalıdır. Bu oranı sadece termal kurutucular sağlayabildiği için, bu sistem kısıtı bu tesislerde sadece termal ve kojenerasyonlu termal kurutucuların seçilmesine olanak sağlamaktadır.

$$N_i \cdot (I_1 + I_2 + I_3) \leq 999,999 \quad i=1, \dots, 191$$

N_i = tesis i için eşdeğer nüfus

- Buharlaşma Potansiyeli ve Yağış

Açık yatak kurutma sistemleri için, buharlaşma potansiyeli yağış miktarından küçük olduğunda, denklem 11 ile hesaplanan alan sıfırdan küçük bir değere ulaşmaktadır. Bu da buharlaşma potansiyelinin yağıştan az olduğu durumlarda açık yatak kurutma sistemlerinin uygun olmadığını göstermektedir. Aşağıdaki denklem ile bu kısıt dikkate alınmaktadır.

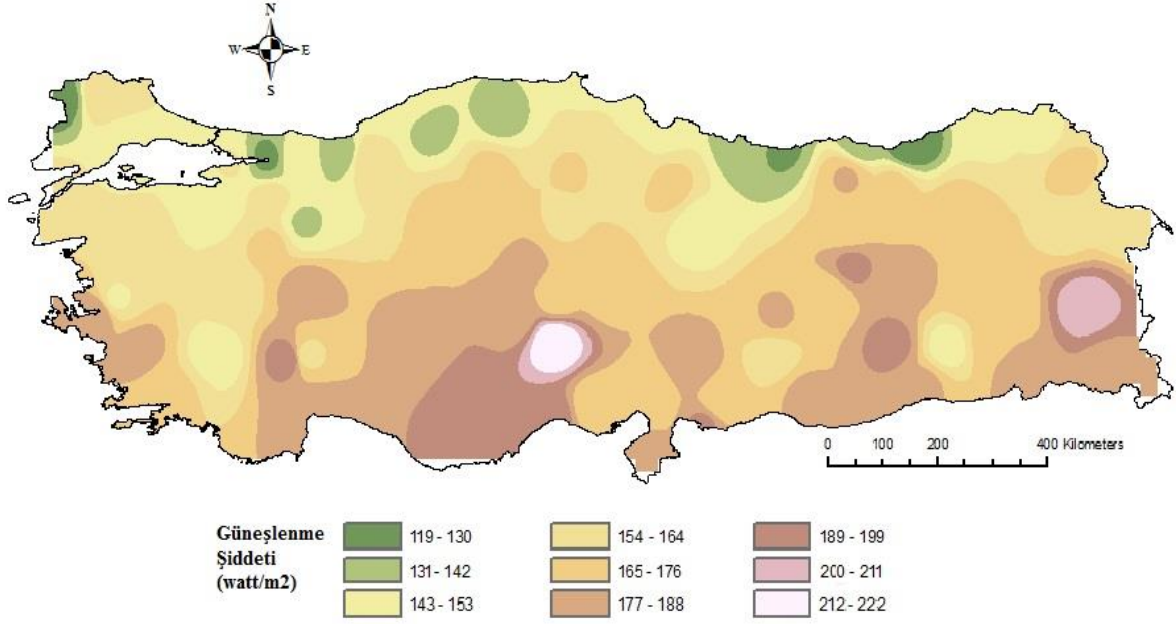
$$I_1 \cdot (B_i - Y_i) \geq 0 \quad i=1, \dots, 191$$

B_i = Tesis i için buharlaşma potansiyeli (m/yıl)

Y_i = Tesis i için yağış miktarı (m/yıl)

- Güneşlenme

Türkiye'nin noktasal meteorolojik verileri kullanılarak, ArcGIS programında IDW dağılımı metoduyla hazırlanmış, güneşlenme haritası aşağıda, Şekil 11.76'te verilmiştir. Burada, güneşlenme şiddeti 137.5 W/m²'den az olan yerlerde açık yatak, kapalı yatak ve sera tipi kurutucular kullanılamaz, termal kurutucular seçilmelidir. 137.5 W/m² Karadeniz bölgesinin yoğun yağış alan bölgelerindeki uzun yıllar ortalama güneşlenme şiddeti değeridir.



Şekil 11.76: Türkiye'nin güneşlenme haritası

$$(G_i - 137.5) * (I_1 + I_2 + I_3) \geq 0 \quad i=1, \dots, 191$$

G_i =Mevcut güneşlenme değeri (W/m²)

- İstenen Minimum Katı Madde Oranı

Bu kısıtlamayla, çamurlarını önceden belirlenmiş katı madde oranına kurutması mümkün olmayan sistemler elenir. Açık ve kapalı yataklarla %50 kuruluğa, sera tipi kurutucularla %70 kuruluğa, termal ve kojenerasyonlu termal kurutucularla %90 kuruluğa erişilebileceği varsayılmıştır. Optimizasyon modelinde, tüm kurutucuların seçtirilebilmesine olanak sağlamak için minimum katı madde oranı %50 alınmıştır.

$$50 * I_1 + 50 * I_2 + 70 * I_3 + 90 * I_4 + 90 * I_5 \geq 50$$

- Kurutma Metodu

Bir tesiste sadece bir kurutma metodu kullanılabilir.

$$I_1 + I_2 + I_3 + I_4 + I_5 = 1$$

- Alan

Açık yatak, kapalı yatak ve sera tipi kurutucular için geçerli bir sistem kısıtıdır. Bu kısıta göre kurutma tesisinin kurulması için gerekli alan kullanılabilir alandan daha büyükse ilgili kurutma yöntemi kullanılamaz.

$$(I_1 * A_1) + (I_2 * A_2) + (I_3 * A_3) \leq A_{i0} * f_i$$

A_{i0} = Arıtma tesisi i'nin mevcut kapladığı alan (ha)

f_i = Arıtma tesisi i için bir kurutma sisteminin yerleşebileceği kullanılabilir alanın arıtma sisteminin mevcut alanına yüzdelik oranı (-)

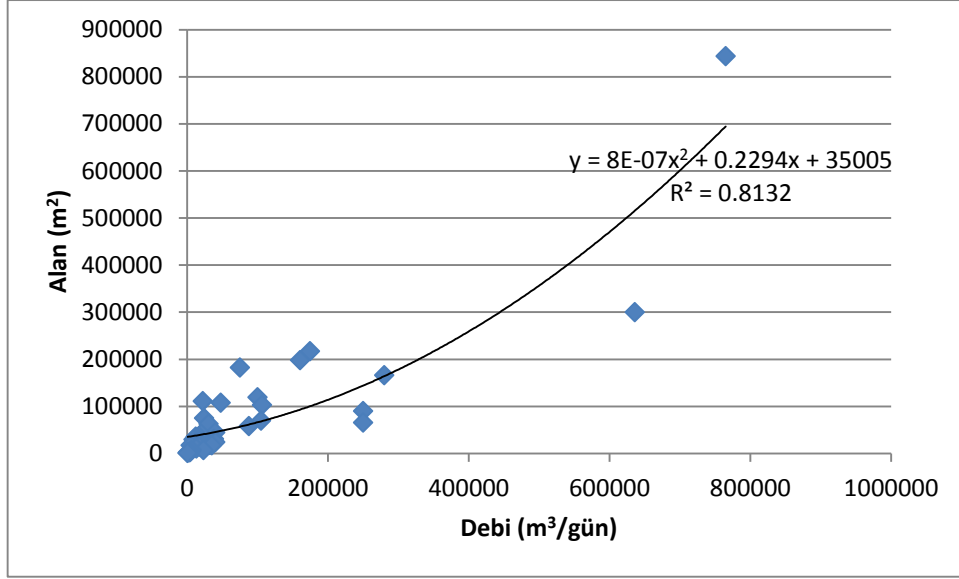
Kullanılabilir kurutma alanları aşağıdaki kurallara göre bölgesel ve yerel kısıtlar temel alınarak belirlenmiştir.

- Marmara ve Karadeniz Bölgelerindeki tüm tesislerde, kurutma alanı mevcut arıtma tesisi alanının %5'idir.
- Eşdeğer nüfusları 1.000.000 ve üzeri olan tesisler için, kurutma alanı, mevcut arıtma tesisi alanının %5'idir.
- Büyükşehir olarak tanımlanmış illerin içindeki, eşdeğer nüfusları 100.000 ve üzeri olan tesislerde kurutma alanı mevcut arıtma tesisi alanının %5'idir.
- Büyükşehir olmayan illerdeki, eşdeğer nüfusları 100.000 ve 1.000.000 arasında olan tesislerde kurutma alanı, mevcut arıtma tesisi alanının %20'sidir.
- Eşdeğer nüfusları 10.000 ve 100.000 arasında olan tesislerde kurutma alanı, mevcut arıtma tesisi alanının %30'udur.
- Eşdeğer nüfusları 1000 ve 10.000 arasında olan tesislerde kurutma alanı, mevcut arıtma tesisi alanının %50'sidir.

Mevcut arıtma tesisi alanları Google Earth üzerinden hesaplanmıştır. Ancak bazı tesislerin Google Earth'te fotoğrafları olmadığından ampirik bir yaklaşım izlenmiştir. Buna göre tesis giriş debileri ile arıtma tesislerinin mevcut kapladığı alanlar üzerinden bir ilişki bulunmuş, fotoğrafı olmayan tesislerin mevcut arıtma tesisi alanları bu ilişki kullanılarak hesaplanmıştır. Kullanılan debi-arıtma tesisi alanı grafiği Şekil 11.77'de verilmiştir. Kullanılan denklem ise aşağıdaki denklemdeki gibidir.

$$A_{i0} = 8 * 10^{-7} Q_i^2 + 0,2294 Q_i + 35005$$

Q_i = Tesis giriş debisi ($m^3/gün$)



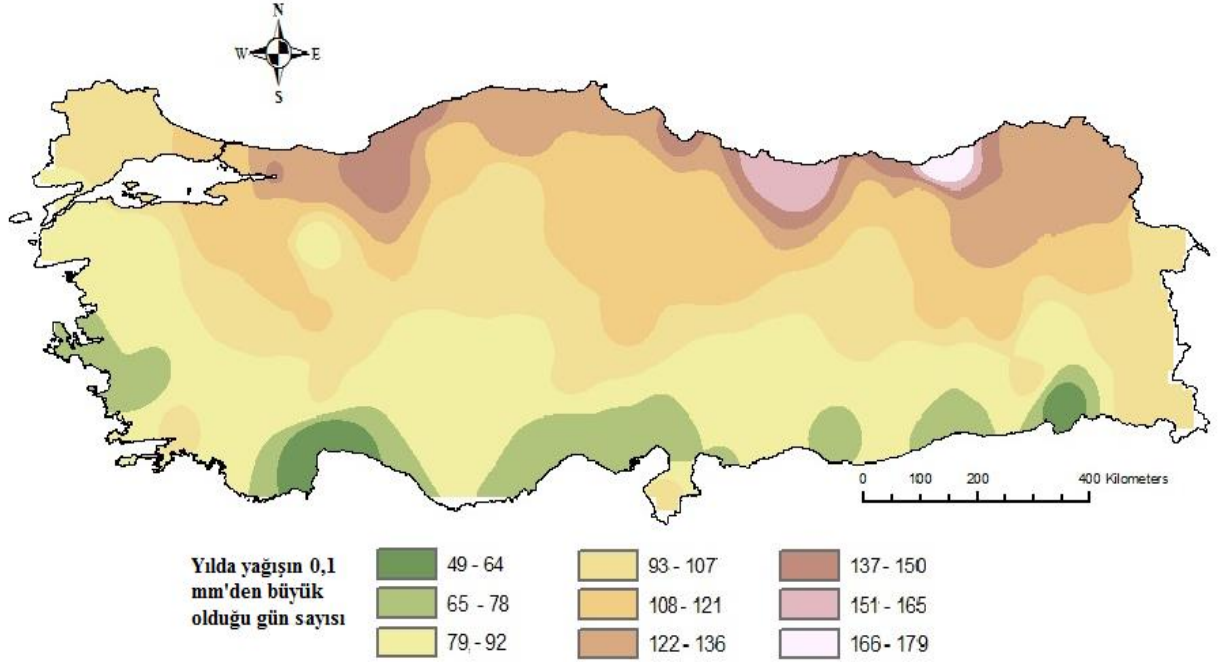
Şekil 11.77: Seçilmiş tesisler için tesis alanı ile giriş debisi arasındaki ilişki

- Yağışlı Gün Sayısı

Yağışlı gün sayısının fazla olması üstü açık veya kapalı yataklı kurutmanın performansını olumsuz yönde etkileyecektir. Türkiye'nin noktasal meteorolojik verileri kullanılarak, ArcGIS programında IDW dağılımı metoduyla hazırlanmış, yılda yağışın 0.1 mm'den büyük olduğu gün sayısının dağılımı haritası aşağıda, Şekil 11.78'de verilmiştir. Optimizasyon modelinde, yağışlı gün sayısının 120'den büyük olduğu yerlerdeki arıtma tesislerinde açık ve kapalı yatak kurutucuların kullanılmayacağı varsayılmıştır. Bu sınır değer Türkiye'nin yağışlı gün sayısı fazla olan Karadeniz'in yağışlı bölgelerini içerecek şekilde belirlenmiştir.

$$Y_i * (I_1 + I_2) \leq 120$$

Y_i = Yağışın 0.1 mm'den büyük olduğu gün sayısı (-)



Şekil 11.78: Yıllık yağışın 0.1 mm'den büyük olduğu gün sayısı dağılımı haritası

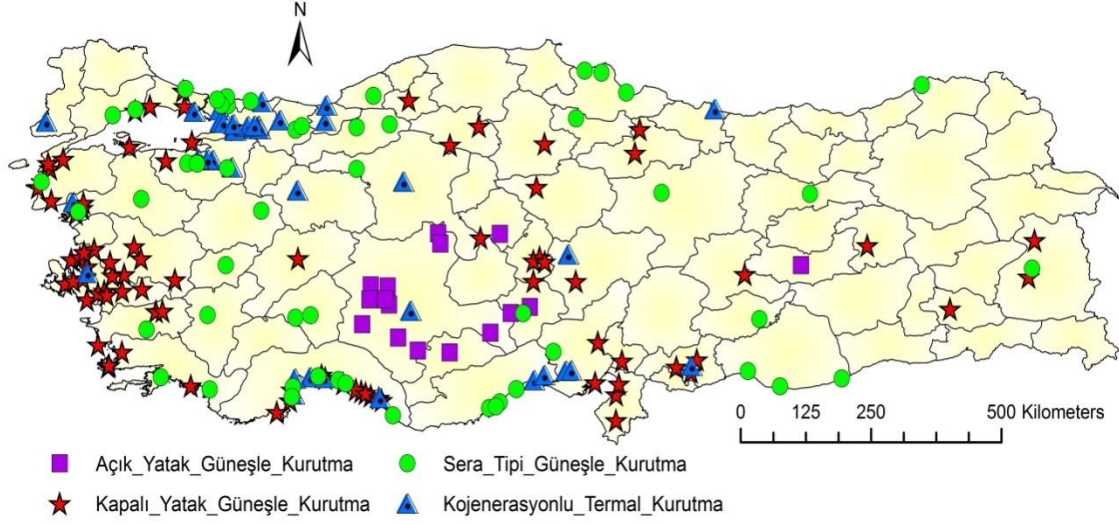
11.1.5.3. Optimizasyon Sonuçları

Yukarıda açıklanan optimizasyon modeli her tesis için ayrı ayrı çalıştırılmış ve kısıtlamalar göz önünde bulundurularak, 2040 yılına kadarki net bugünkü değerlere göre en uygun kurutma sistemi belirlenmiştir. Tablo 11.60'da ıslak çamur üretim miktarına göre en büyük 20 tesis için optimizasyon yöntemiyle seçilen kurutma sistemlerinin 2040 yılına kadarki net bugünkü değerleri, ve de ilk yıl maliyetleri ayrıca verilmiştir. Tüm mevcut tesislerin bulunduğu tablo EK F-X, Tablo F-X.12'de verilmiştir.

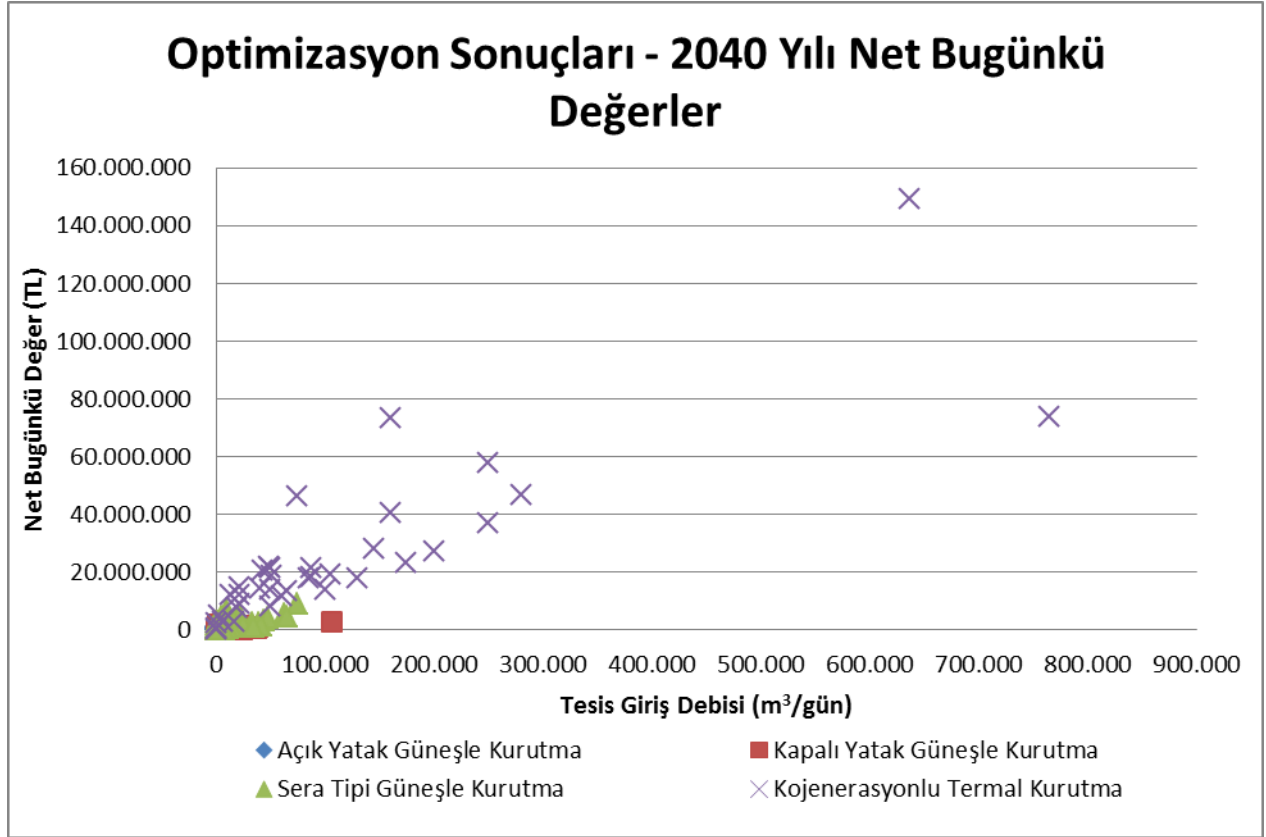
Sonuçlar incelendiğinde Türkiye genelinde, mevcut 191 tesisin 16'sı için açık yatak güneşle kurutma, 85'i için kapalı yatak güneşle kurutma, 53'ü için sera tipi güneşle kurutma ve kalan 37'si için kojenerasyonlu termal kurutma seçilmiştir. Şekil 11.79'da 191 tesis ve bu tesisler için seçilen kurutma yöntemleri verilmiştir. Şekil 11.80'de ise tesis debileri, seçilen kurutma sistemleri ve bu sistemlerin 2040 yılına kadarki net bugünkü değerleri verilmiştir.

Tablo 11.60: Tesisler ve optimizasyon sonucunda seçilen kurutma sistemleri ve maliyetleri

Bölge	Tesis	Seçilen Kurutma Sistemi	İlkYıl Maliyeti (TL)	2040 Yılın Toplam Maliyeti (TL)
EGE B.	İzmir/Çiğli AAT	Kojenerasyonlu Termal Kurutma	65,004,782	149,263,897
İÇ AN. B.	Ankara/ASKİ Merkez AAT	Kojenerasyonlu Termal Kurutma	32,765,945	73,729,957
İÇ AN. B.	Kayseri/KASKİ Merkez AAT	Kojenerasyonlu Termal Kurutma	32,581,965	73,186,092
MAR.B.	İstanbul/İSKİ Tuzla AAT	Kojenerasyonlu Termal Kurutma	25,093,495	57,865,298
MAR.B.	İstanbul/İSKİ Ataköy AAT	Kojenerasyonlu Termal Kurutma	20,616,952	46,574,890
AKD.B.	Antalya/Hurma İleri Biyolojik AAT	Kojenerasyonlu Termal Kurutma	20,504,116	46,241,336
GÜN.B.	Gaziantep/GASKİ 1	Kojenerasyonlu Termal Kurutma	16,728,672	37,023,454
MAR.B.	Bursa/BUSKİ Doğu	Kojenerasyonlu Termal Kurutma	18,552,818	40,473,074
İÇ AN. B.	Konya/KOSKİ Merkez AAT	Kojenerasyonlu Termal Kurutma	12,255,170	28,116,527
MAR.B.	İstanbul/Paşaköy	Kojenerasyonlu Termal Kurutma	12,013,853	27,403,167
AKD.B.	Adana/Seyhan AAT	Kojenerasyonlu Termal Kurutma	10,449,657	23,210,949
EGE B.	Denizli/Merkez AAT	Sera Tipi Güneşle Kurutma	7,277,207	9,133,745
İÇ AN. B.	Eskişehir/ESKİ Merkez AAT	Kojenerasyonlu Termal Kurutma	8,593,046	19,233,634
MAR.B.	Bursa/Yeşil Çevre A.Ş.	Kojenerasyonlu Termal Kurutma	8,482,169	18,905,872
AKD.B.	Antalya/Alanya AAT	Kojenerasyonlu Termal Kurutma	12,090,038	21,826,372
MAR.B.	Sakarya/Karaman	Kojenerasyonlu Termal Kurutma	11,909,019	21,452,982
MAR.B.	Kocaeli/İSU Gebze AAT	Kojenerasyonlu Termal Kurutma	11,988,788	21,617,521
AKD.B.	Mersin/Tarsus AAT	Kojenerasyonlu Termal Kurutma	11,524,261	20,659,335
MAR.B.	Bursa/BUSKİ Batı	Kojenerasyonlu Termal Kurutma	10,505,050	18,556,995
AKD.B.	Mersin/Karaduvar AAT	Kojenerasyonlu Termal Kurutma	10,214,197	17,957,047



Şekil 11.79: 191 arıtma tesisi için seçilen kurutma yöntemleri



Şekil 11.80: 191 arıtma tesisi için giriş debileri, seçilen kurutma sistemleri ve bu sistemlerin 2040 yılına kadarki net bugünkü değerleri.

Genel duruma bakıldığında, en pahalı kurutma sistemi termal kurutmadır, sonra sırasıyla kojenerasyonlu termal kurutma, sera tipi güneşle kurutma ve açık ve kapalı yatak güneşle kurutma gelmektedir. Bu duruma göre hem güneşlenme şiddeti hem de yağışlı gün kısıtlamalarını sağlayan tesislerde açık ve kapalı yatak güneşle kurutma sistemlerinden ucuz olanı seçilmiştir. Güneşlenme şiddeti kısıtlamasını sağlayan ancak yağışlı gün sayısı kısıtını sağlayamayan tesislerde sera tipi güneşle kurutma seçilmiştir. Güneşlenme şiddeti kısıtını sağlayamayan, eşdeğer nüfusu bir milyonun üzerinde olan veya yeterli alana sahip olmayan tesislerde kojenerasyonlu termal kurutma seçilmiştir. 2040 yılına kadarki net bugünkü değerler karşılaştırıldığında termal kurutma, kojenerasyonlu termal kurutmadan her zaman daha pahalı olduğu için hiçbir tesis için seçilmemiştir. Optimizasyon sonuçları, termal kurutmanın kullanıldığı durumlarda kojenerasyonlu sistemlerin kullanılması gerektiğine işaret etmektedir.

Çıkan sonuçlara göre eşdeğer nüfusu 100.000 den az olan nüfusa hizmet veren tesislerde kurutma sistemi seçiminde debi, ıslak veya kuru çamur miktarı veya eşdeğer nüfus arasında bir bağlantı görülmemektedir. Bu durum, optimizasyon için kullanılan meteorolojik kısıtlar başta olmak üzere sistem kısıtlarından kaynaklanmaktadır. 100.000'den daha fazla nüfusa hizmet veren tesislerde ise kojenerasyonlu termal kurutma tercih edilmiştir. Farklı kısıtlamalar ve varsayımlar kullanıldığında başka sonuçlara ulaşılabilir. Bu nedenle, bu çalışmada elde edilen maliyetler karşılaştırma amaçlı kullanılmalı, gerçek maliyetlerin hesaplanması için tesis bazında detaylı analiz yapılmalıdır.

Ayrıca bu bölümün başında belirtildiği gibi tesiste atık ısı olması durumu bu raporda değerlendirilmemiştir. Atık ısının mevcut olduğu durumlarda termal kurutma için işletme maliyetlerinin çok düşmesi ve sonuçların önemli ölçüde değişerek termal kurutmanın tesis özelliklerine bağlı olarak seçilebilecek alternatiflerden biri olması beklenmektedir.

11.1.6. TAM ÖLÇEKLİ YAKMA DENEMELERİ

On bir nolu iş paketinin son ayağı olarak arıtma çamurlarının tam ölçekli tesislerde yakma denemeleri gerçekleştirilmiştir. Bu konuda DEÜ, Kimtaş kireç fabrikası ile iletişime geçmiş, ODTÜ grubu da bir çimento fabrikasında büyük ölçekli yakma deneylerini yapmayı planlamıştır. Buna yönelik olarak halihazırda arıtma çamurunu kurutarak ek yakıt olarak kullanan Nuh Çimento Fabrikası ile iletişime geçilerek Nuh tesislerine bir ön ziyaret gerçekleştirilmiştir. Bu ziyarette hem çamur kurutma, hem de yakma işlemleri ile ilgili teknik konularda bilgi alınmış ve projemiz hakkında kendilerine bilgi verilmiştir. Yapılan görüşmeler sonunda proje ekibimizin çamurun

yakılması sırasındaki çalışmalara katılması, yakma işlemi öncesi kullanılan hammadde örneklerinin alınması, bu örneklerde karakterizasyon çalışmalarının proje ekibimiz tarafından yapılması, kullanılan çamurun (Kocaeli Belediyesi sorumluluğundaki 7 evsel/kentsel atıksu arıtma tesisi karışım çamuru) örneklenmesi ve karakterizasyonunun yapılması, yakma çalışmaları sırasında oluşan baca gazının ekibimiz tarafından analizinin yapılması, oluşan klinkerin ve çimentonun analizlerinin yapılabilmesi için örneklerin alınması konusunda fabrika yetkililerinden gerekli izinler alınmıştır. Ön analiz ve değerlendirmeleri takiben karşılıklı mutabık kalınan tarihte çalışmaların başlatılmasına karar verilmiştir. Aşağıda bu tesisin ziyareti sırasında çekilen arıtma çamurlarının yakıldığı 3 nolu fırına ait bir fotoğraf verilmektedir.



Şekil 11.81: Arıtma Çamurlarının Yakıldığı 3 No'lu Fırın

Tam Ölçekli Yakma Denemelerine İlişkin Çalışmalar

Nuh Çimento Fabrikasında tam ölçekli arıtma çamuru yakma işlemleri 2 Kasım 2012 tarihinde gerçekleştirilmiştir. Bu bölümde bu aşamada yapılan çalışmalar anlatılmaktadır. Yapılan çalışmalara geçilmeden önce fabrikanın işleyişi ve bünyesindeki arıtma çamuru kurutma tesisinin kısa bir tanıtımı yapılacaktır.

Nuh Çimento Fabrikası ve Çimento Üretim Prosesi

Ülkemizde hali hazırda 52 adet çimento fabrikası bulunmaktadır. Bu fabrikaların yıllık üretim kapasitesi yaklaşık 63,5 milyon ton klinkerdir. Bu kapasite ile Türkiye, dünyanın en büyük sekizinci, Avrupa'nın ise en büyük çimento üreticisi konumundadır. Nuh Çimento Fabrikası ise ülkemiz çimento üretiminde, yaklaşık yıllık 4,5 milyon ton klinker üretimi ile tesis bazında ülkemizin ve Avrupa'nın en büyük üreticisidir. Nuh Çimento Fabrikasında iki tür ana malzeme üretilmektedir. Bunlar:

1. Klinker (yarı mamul) (hammaddeleri kalker, marn, kil, boksit, demir cevheri)
2. Çimento (mamul) (hammaddeleri klinker, alçı taşı, tras vb. katkıları)

Klinker ve Çimento Üretim Süreçleri

Klinker; kalker, marn (veya kil) ve demir cevherinin hammadde olarak kullanıldığı bir oksitler bileşimidir. Önce belirtilen hammaddelerin belli orandaki karışımı 1450°C da bir döner fırında pişirilerek klinker oluşturulmakta, daha sonra alçıtaşı, tras ve diğer katkı maddeleri eklenerek inşaat malzemesi olarak kullanılan çimento meydana gelmektedir. Klinker, basit olarak Kalsiyum-Aluminyum-Silikatlar olarak formüle edilebilir. Klinkerdeki CaO kalkerden, Al₂O₃ kilden, Fe₂O₃ de demir cevherinden gelmektedir.

Nuh Çimento Fabrikasında üretimde kullanılacak 0-1000 mm boyutundaki hammaddeler, kırıcılardan geçirilerek, 0-30 mm boyutuna düşürülmekte ve homojen bir karışım haline getirilmektedir. Tesiste hammadde kırmak için 2 adet 1500 ton/saat kapasiteli ve yardımcı malzeme kırmak için 400 ton/saat kapasiteli toplam 3 adet kırıcı bulunmaktadır. Kırıcıdan geçen malzeme miktarı günde yaklaşık 20,000 ton'dur. Kırıcılarda kırılan malzeme lastik bantlar kanalıyla stok alanına sevk edilmekte ve üretim hatlarına beslenmektedir. Çimentoda istenen özelliklerin sağlanabilmesi için hammaddenin fiziksel ve kimyasal olarak istenilen bileşime sahip olması gerekmektedir. Bu bileşimi tayin eden belli karma bileşen grupları vardır. Bunlar:

C3S = Kalsiyum 3 Silikat

C2S = Kalsiyum 2 Silikat

C3A = Kalsiyum Alüminat

C4AF = Kalsiyum Alümino Ferrit

tir. Çimentonun istenen özelliklere sahip olabilmesi için bu bileşenlerin karışım içindeki yüzde değerlerinin belli aralıklarda olması gereklidir.

Hammadde kimyasal yapısını belirlemede kullanılan model bağıntıları aşağıda verilmektedir.

$$LSF=100*C / (2,8*S + 1,18*A + 0,65F)$$

$$HM= C / (S + A +F)$$

$$SM= S / (A + F)$$

$$AM= A / F$$

$$\text{Likit faz}= 2,95*A + 2,2*F +2$$

Bu denkliklerde LSF: kirece doygunluk katsayısı, HM: hidrolik modül, SM: silis modülü, AM: alümina modülü, C: CaO, F: Fe₂O₃, A: Al₂O₃ ve S: SiO₂ olmaktadır. Çimento bileşenleri ise aşağıdaki gösterilen şekilde hesaplanır.

$$C3S = 4,71*C- (7,6*S+6,718*A+1,43*F+2,85*SO_3)$$

$$C2S = 2,8675*S- (0,754*C3S)$$

$$C3A = 2,65*A - (1,692*F)$$

$$C4AF= 3,043*F$$

Tesiste hammadde bunkerlerinde bulunan hammaddeler toplayıcı bant kanalıyla farin değirmenlerine beslenmektedir. Taşıyıcı bant üzerinde ilerleyen hammaddenin kompozisyonu gamametrik bir cihaz yardımı ile belirlenir. Bu sistem, yukarıda verilen modüllerde hedeflenen miktarlardan sapma olması durumunda merkezi bilgisayarlarla bu sapmaları saptayıp, kantarlı bantların devirlerini değiştirerek toplama bandında istenen kimyasal yapıda stabil bir besleme elde edecek şekilde çalışmaktadır. Fırınlarda istenen reaksiyonların olması için kimyasal özellikler dışında fiziksel olarak da malzemenin belirli bir inceliğe getirilmesi gerekmektedir. Bu amaçla kırıcıda kırılarak boyutu küçültülen hammadde, farin değirmenlerinde 90 mikron civarındaki boyuta öğütülerek ince toz haline getirilir. Bu şekilde fırınlarda reaksiyonların oluşumu için gerekli yüzey alanı oluşmuş olmaktadır. Nuh çimento tesisinde 3 üretim hattı için, hammadde öğütme amaçlı kullanılan 3 adet farin değirmeni vardır (200, 270 ve 480 kg/saat kapasiteli). Öğütülen farin daha sonra farin silolarına gönderilmektedir. Tesiste toplam 34000 ton kapasiteli 7 adet farin silosu bulunmaktadır.

Fabrikada 3 adet döner fırın bulunmaktadır. Bu döner fırınlar toplam üretim kapasitesi 4.200.000 ton/yıl dır. Kurulu tesis bazında Nuh Çimento Fabrikası, Türkiye ve Avrupa'nın en büyük tesisidir. Dünyada ise en büyük ilk 10 tesisten biridir.

Tesiste yakıt olarak, kömür (steam coal), petrokok doğalgaz ve fuel oil (6 numara) kullanılabilir. İşletmede hangi tip yakıtın kullanılacağı genel konjonktür, proses şartları ve kalori maliyetleri baz alınarak belirlenmektedir. Katı yakıtların kullanılması durumunda, bunlar öğütülerek uygun inceliğe getirilmektedir. Bu amaca yönelik olarak tesiste 5 adet kömür değirmeni bulunmaktadır.

Fabrikada hammaddenin farin değirmeninden döner fırına beslenmesi, farin kalsinatörlerden ve bir dizi siklondan geçtikten sonra olmaktadır. Farin değirmeninden gelen %1 nem içeriğine sahip 90°C ortalama sıcaklığındaki farin tozu kalsinatörlere beslenmekte, burada 750-950°C sıcaklık aralığında kalsinasyon (kalsiyum karbonatın kalsiyum oksite dönüşüm) reaksiyonu tamamlanmaktadır. Hammadde daha sonra 280°C sıcaklıkta siklonlara, buradan da döner fırınlara beslenmektedir. Hammaddenin fırına girdiği bölgede ortalama sıcaklık aralığı 1000-1100°C dir. Fırın içerisinde ortalama sıcaklık ise 1300°C dir. Fırın ana brülöründe oluşan alev yaklaşık 20 metre olup, alevin ucu ise fırının en sıcak bölgesini oluşturmaktadır. Fırın içerisinde malzeme alev doğru yaklaştıkça eriyik halini alır ve geçiş bölgesi diye tabir edilen bölgede sinterleşme reaksiyonları oluşmaya başlar. Fe₂O₃ ihtiyacı kadar CaO ve Al₂O₃ ile reaksiyona girerek C₄AF (kalsiyum alüminoferrit) yapısını oluşturur. Sinter bölgesinde sırasıyla Al₂O₃ ve CaO farklı ısı rejimlerinde C₃A (kalsiyum alüminat) yapısını oluşturur. Bu aşama sonunda yapıdaki serbest Fe₂O₃ ile birlikte serbest halde bulunan Al₂O₃ kullanılmış olur. Arta kalan CaO ve SiO₂ reaksiyona girerek C₃S-C₂S (kalsiyum silikat) yapısını oluşturarak reaksiyonlar tamamlanmış olur. Arta kalan CaO, serbest kireç olarak anılır ve %2 üzerinde olması sakıncalıdır. Klinkerleşme reaksiyonları sonrası klinker fırın ağızından yaklaşık olarak 1100- 1200°C sıcaklıkta soğutma ünitesine düşer. Soğutma ünitesinde atmosferden alınan soğuk hava, klinker ısını alarak yakma ve taşıma havası olarak kullanılır. Soğuyan klinker ise taşıma sistemleri yardımı ile silolara taşınarak yarı mamul madde olarak orada stoklanır. Bu aşamadan sonra tesiste yarı mamul maddeden çimento üretimi gerçekleştirilmektedir.

Çimeno üretim işlemi, klinkerin katkı maddeleri (alçı taşı ya da tras-doğal puzolan) ile karıştırılması ile gerçekleştirilir. Fırınlarda elde edilen klinker, alçı taşı ve katkı malzemesi; belirli oranlarda karıştırılarak çimento değirmeninde öğütülmektedir. Tesiste 3 adet çimento değirmeni bulunmaktadır. Değirmende öğütülen çimento, çimento silolarına (8 adet silo mevcuttur) alınmakta ve stoklanmaktadır. Bu silolarda stoklanan ürün daha sonra satışa sunulmaktadır.

Nuh Çimento Fabrikası'nda Kurulan Arıtma Çamuru Kurutma Tesisi

Çamur kurutma tesisi, besleme sistemi de dahil edildiğinde 25 milyon dolarlık bir ilk maliyete sahip, 2009 yılı Nisan ayında devreye alınmış bir tesistir. Sistemde, indirekt kurutma yapan belt tipi bir kurutucu bulunmaktadır. Kurutucu, 250 ton/gün ıslak (%20) çamur besleme ve 55 ton/gün kuru granül üretme kapasitelerine sahiptir. Saatte 8125 m³ su buharlaştırmaktadır. Atık ısıdan enerji geri kazanımı ve çimento fabrikasına entegre yapısı ile, bu sistem Türkiye'de ilk olma özelliği taşımaktadır. Kurutma sisteminin çalışma prensibi aşağıda özetlenmektedir.

Döner fırının (3 nolu fırın) soğutma ünitesinden yaklaşık 280°C civarında sıcaklık ve 500.000 m³/saat debide çıkan sıcak gazın atık ısısı, çamur kurutma işleminde kullanılmaktadır. Bu ısı önce eşanjörler yardımı ile özel bir ısı transfer yağına aktarılmaktadır. Isıtılan yağ, ısı izolasyonu yapılmış bir boru hattı ile kurutma işleminin yapıldığı bölgeye transfer edilmektedir. Bu bölgede yine eşanjörler kullanılarak 190°C sıcaklıktaki yağdan hava geçirilerek sıcak hava elde edilmektedir. Elde edilen sıcak hava kurutma işlemi yapmak için kullanılmaktadır.

Kurutma tesisinde Kocaeli merkezde yer alan evsel/kentsel nitelikli 7 adet atıksu arıtma tesisinin çamurları kurutulmaktadır. Fabrikaya susuzlaştırma sonrası çamurlarını gönderen tesisler 42 Evler, Plajyolu, Yeniköy, Kullar, Körfez, Karamürsel ve Gebze AAT'dir. Bu tesisler biyolojik arıtma sistemlerine sahiptir; ancak hiçbiri çamur stabilizasyonu yapmamaktadır. Tesislerden gelen arıtma çamurları ilk olarak 500 ton kapasiteli bunkere dökülmektedir. Kamyonlar için özel atık boşaltım sahasına sahip olan bunkerden vinçle alınan çamur, besleme bunkerine boşaltılmaktadır. Daha sonra helezonlar yardımıyla kurutma sistemine taşınan çamur, 6 m genişliği ve 37 m uzunluğu olan kurutma odasına beslenmektedir. Bant sistemiyle kurutma işleminin yapıldığı odada çamur bant üzerine serilerek bir tabaka oluşturmaktadır. (Şekil 11.84). Bant sisteminin özel bir yapıda olmasından dolayı banttan aşağı sulu çamur dökülmemektedir. Bantın alt tarafından verilen sıcak hava ile kurutma işlemi yapılmaktadır. Bantın bir tur atması sonucunda çamur içerisindeki katı madde oranı %20 den %90 a kadar artmaktadır. Büyük ölçüde suyunu kaybeden çamur soğutma

bölgesine alınmakta, soğuduktan sonra kırma ünitelerinde kırılmakta ve granül halinde nihai depolama ünitesinde depolanmaktadır. Çamur kurutma işleminden çıkan hava kimyasal yıkayıcılardan geçirilerek arıtıma tabi tutulmakta, koku ve diğer istenmeyen maddelerden arıtılan hava ve su buharı sistemi terk etmektedir. Sistemin tamamı kapalı olarak betonarme ve paslanmaz çelikten inşa edilmiştir.



Şekil 11.82: Nuh Çimento Fabrikası Çamur Kabul Birimi



Şekil 11.83: Tesise Gelen Islak Çamurun Kurutucuya Aktarılması



Şekil 11.84: Kurumuş Granül Çamurun Bant Üzerinde İlerleyişi

Granül halde ve %90 kuru malzeme içeren nihai ürün (Şekil 11.85) depolandığı silodan silobus tipi kapalı ve tüm yangın önlemleri alınmış kamyon ile taşınarak ürün besleme silosuna pinomatik olarak basılmaktadır. Kurutulmuş arıtma çamurları sadece 3 numaralı döner fırında yakılmaktadır. Kurutulmuş çamur, besleme silosundan fırın kumanda operatörlerinin talimatıyla tamamen otomatik olarak fırına kömür beslenen noktadan ek yakıt olarak beslenmektedir. Beslenen ek yakıtın sağladığı ısı değer kadar ana yakıt olan kömürün besleme hızı azaltılmaktadır. Nuh çimento fabrikasında bulunan 3 döner fırında yılda yaklaşık 600.000 ton kömür yakılmaktadır. Bunlardan 3 numaralı döner fırın ise 300.000 ton kapasite ile yaklaşık 6500 kcal/kg ısı değerine sahip kömürü yakmaktadır. Mevcut verilere göre yılda yakıt olarak kullanılan kömürün ısı değer bazında yaklaşık %3 ünü oluşturan, yaklaşık 3200 kcal/kg ısı değerine sahip 9000 ton civarında arıtma çamuru tesiste yakılmaktadır.



Şekil 11.85: Kurutulup Yakma İşlemine Hazır Hale Getirilen Arıtma Çamurları

Nuh Çimento Fabrikasında Proje Kapsamında Yapılan Çalışmalar

Nuh Çimento Fabrikası'nda arıtma çamurlarının yakılması 2010 yılından bu yana düzenli olarak gerçekleştirilmektedir. Proje önerisini hazırladığımız aşamada henüz kurutma tesisi inşa halindeydi ve yakma işlemi gerçekleşmemekteydi. Proje hazırlıklarımız başladığından beri fabrika 3 kez ziyaret edilmiştir. Yukarıda da belirtildiği gibi 2 Kasım 2012 tarihinde yapılan son ziyarette (Şekil 11.86) ise proje kapsamında öngörülen yakma işlemlerine eşlik edilmiş, ilgili ölçümler yapılmış, analizi yapılamayan parametreler için de daha sonra analizleri yaptırılmak üzere değişik yerlerden örnekler alınmıştır. Çalışmalarda proje kapsamında satın alınan portatif baca gazı ölçüm cihazı ile tesisin 3 numaralı döner fırınının bacasında baca gazı ölçümleri gerçekleştirilmiştir. Ayrıca proje kapsamında önerildiği şekilde bacadaki torbalı filtreden örnek alınarak filtre tozu analizi TÜBİTAK MAM'da yaptırılmıştır. Ayrıca yine aynı tarihte üretilen klinkerden de örnekler alınarak klinkerin özelliklerine yönelik analizler de TÇMB Ar-Ge laboratuvarında gerçekleştirilmiştir.

11.1.6.1. Endüstriyel Ölçekli Klinker Elde Etme Denemesi

Atıkların yakılmasına ilişkin yönetmelik (6.10.2010) kapsamında atıkları yakan tesisler “yakma tesisleri” ve “beraber yakma tesisleri” olarak iki grupta değerlendirilmektedir. Yönetmelik “beraber yakma” tesislerini “*Ana gayesi enerji üretimi veya ürün imal etmek olan, atıkları alternatif veya ek yakıt olarak kullanan veya atığı termal olarak bertaraf eden, atık kabul ünitesi, geçici depolama birimi, ön işlem ünitesi, atık besleme ve hava ikmal sistemleri, kazan, baca gazı arıtım üniteleri, yakma sonucu oluşan kalıntıların geçici depolama ve atıksuların arıtılması için tesis içinde yer alan üniteler, baca, yakma işlemlerini kontrol etmek, yakma şartlarını kaydetmek, izlemek için kullanılan ölçüm cihazları ve sistemler de dahil olmak üzere, beraber yakma tesisinde yer alan bütün üniteleri kapsayan her türlü tesis*” olarak tanımlanmaktadır. Beraber yakma tesisleri baca gazı emisyonları bakımından yönetmeliğin Ek-2’deki şartları ile takip edilir. Yönetmeliğin 11. maddesi “beraber yakma” tesislerini, “.. *baca gazı emisyonları, Ek-2’de belirlenen emisyon limit değerlerini aşmayacak şekilde tasarlanır, donatılır, inşa edilir ve işletilir. Bir beraber yakma tesisi ortaya çıkan yakıt anma ısı güç değerinin %40 veya daha azını atıktan sağlıyorsa, Ek-2’de belirlenen emisyon limit değerleri uygulanır. Yakıt anma ısı güç değerinin %40’dan fazlasını atıktan karşılıyor ise, bu tesis yakma tesisi olarak değerlendirilir...*” ifadesi ile tanımlamıştır.

Ek-2’nin 1. maddesi atıkları beraber yakan çimento fabrikaları için özel hükümler getirmektedir. Ek-2, 1. maddede sürekli ölçüm işlemi ve sürekli ölçüm ile takip edilecek parametreler tanımlanmaktadır. Buna göre, NO_x, CO, toplam toz, TOK, HCl, HF, SO₂’nin baca gazı içindeki konsantrasyonlarının sürekli ölçüm cihazları ile ölçülmesi gerekmektedir. Yönetmelikte sürekli ölçümlerin yanı sıra onları kontrol ve teyid amacıyla periyodik ölçümler de zorunlu tutulmaktadır. Bu ölçümlerde de yılda en az 4 kez NO_x, CO, toplam toz, TOK, HCl, HF, SO₂ analizleri ve yılda en az 2 kez olmak üzere ağır metaller, PAH, dioksin ve furan analizleri gerekmektedir. Ayrıca tesisin ilk işletmeye alınmasından itibaren 12 ay boyunca en az her 3 ayda bir olmak üzere dioksin ve furanlar ölçülmelidir.

Nuh Çimento Fabrikasına yapılan ziyaret sırasında sürekli (on-line) ölçümleri izleme şansımız oldu. Fabrika yetkilileri bu sistemle elde edilen verileri proje grubumuzla paylaştılar. Aşağıdaki Tablo 11.61’de tesisin sürekli ölçüm sonuçları, son yaptırılan periyodik ölçüm sonuçları ve kendi baca gazı ölçüm cihazımızla yapılan analiz sonuçları yönetmelik Ek-2 sınır değerleri ile karşılaştırmalı olarak sunulmaktadır. Tabloda ODTÜ ölçümü altında yer almayan parametrelerden

baca tozunda yapılacak olan ağır metal analizleri yukarıda da belirtildiği gibi TÜBİTAK MAM'da yapılmıştır. Ölçümü tabloda gösterilen parametreler için sürekli ölçüm sonuçları ile ODTÜ ölçüm sonuçları arasında bir miktar fark vardır. Ancak, bu fark açıklanabilir bir farktır. Sürekli ölçüm cihazları belli aralıklarla ölçüm yaparak bunların ortalamasını rapor etmektedir. Grubumuzun yaptığı ölçümler ise anlık ölçümlerdir. Dolayısı ile anlık ölçüm sırasında değerlerin biraz alçak veya biraz yüksek olduğu zamanlar yakalanmış olabilir. Benzer bir fark, sürekli ölçümler ve periyodik ölçümler arasında da bulunmaktadır. Dolayısı ile her üç ölçüm de zaman içinde doğal işleyişten kaynaklanabilecek değişimleri göstermektedir. Ölçülen parametreler yönetmelik sınır değerleri ile karşılaştırıldığında bu sınırların aşılmadığı da görülmektedir. Yönetmelikte grubumuzun ölçtüğü parametrelerden CO için çimento fabrikalarına yönelik bir sınır değer bulunmamaktadır. Kirletici parametrelerden SO₂ değerlerinin de sınır değerlerin çok altında olduğu görülmektedir.

11.1.6.2. Baca Gazında Yapılan Ölçümler

Nuh Çimento fabrikasında arıtma çamurunun ek yakıt olarak kullanımı deneyi sırasında açığa çıkan baca gazı emisyonları Tablo 11.61'de verilmiştir. Baca gazı ölçümü eşzamanlı olarak hem ODTÜ'de bulunan Madur marka portatif baca gazı emisyon cihazı ile (Şekil 11.86), hem de Nuh Çimento fabrikasında bulunan online sürekli ölçüm sistemi ile gerçekleştirilmiştir. Ayrıca, bu tabloda Nuh Çimento fabrikasının "Atık Yakma Yönetmeliği" kapsamında hizmet alımı ile gerçekleştirmek zorunda olduğu periyodik ölçüm sonuçları da mevcuttur.

ODTÜ'de bulunan portatif baca gazı emisyon cihazı ile, O₂, CO₂, Sıcaklık, CO, NO_x, SO₂ konsantrasyonları ölçülmüştür. Nuh Çimento Fabrikasında bulunan sürekli ölçüm cihazı ise bunlara ek olarak THC, HF, HCl ve toz ölçümü yapabilmektedir. Periyodik olarak yaptırılan ölçümlerde ise bu iki grup parametreye ek olarak TOC ölçülmüştür. Ayrıca, yine periyodik ölçümlerde "Atık Yakma Yönetmeliği" nin EK-2'sine uygun olarak baca gazı örnekleme sisteminin yapıldığı noktada, yani baca gazlarının toz filtrelerini de geçip alıcı ortama deşarj olacağı noktada ağır metal ve dioksin/furan konsantrasyonlarını belirleyebilmek için 30 dakika ile 8 saat aralığında örnekleme yapılmıştır. Bu örnekleme sonucunda biriken tozun içerisinde ağır metaller ve dioksin/furanların konsantrasyonları tespit edilmiştir.





Şekil 11.86: Baca Gazı Örneklemelerinin Yapılması

Tablo 11.61: 2 Kasım 2012 Tarihinde Nuh Çimento Fabrikası 3 No'lu Döner Fırına ait Baca Gazı Emisyonları – Sürekli Ölçümler, Periyodik Ölçümler ve Proje Baca Gazı Ölçüm Cihazı ile Yapılan Ölçümler

Parametre	Birim	Online ölçüm çıktısı	Periyodik ölçüm raporu	ODTÜ ölçümü	Sınır değerler
O ₂	%	6,13	6,18	4,68±0,11	-
CO ₂	%			25,14±0,0003	-
SICAKLIK	°C	117,6	117,5	113,29±1,28	-
BASINC	mBar	0,8	1,0	1±0	-
DEBİ	m ³ /saat	765885	705578		-
CO _m	mg/Nm ³ @ 10 O ₂	452,5	222,3	794,2±45,8	-
NO _{xm}	mg/Nm ³ @ 10 O ₂	890,3	433,5	706,2±7,83	942
SO _{2m}	mg/Nm ³ @ 10 O ₂	0,833	t.e.	2,29±2,09	50
THC _m	mg/Nm ³ @ 10 O ₂	26,1			
HF _m	mg/Nm ³ @ 10 O ₂	0,001	<0,25		1

Tablo 11.61 (devam): 2 Kasım 2012 Tarihinde Nuh Çimento Fabrikası 3 No'lu Döner Fırına ait Baca Gazı Emisyonları – Sürekli Ölçümler, Periyodik Ölçümler ve Proje Baca Gazı Ölçüm Cihazı ile Yapılan Ölçümler

Parametre	Birim	Online ölçüm çıktısı	Periyodik ölçüm raporu	ODTÜ ölçümü	Sınır değerler
HClm	mg/Nm ³ @10 O ₂	0,09	<0,24		10
TOZm	mg/Nm ³ @10 O ₂	1,7	4,69		30
TOC	mg/Nm ³ @10 O ₂		11,14		10***
Toplam PCDD/F	ng/Nm ³ @10 O ₂		0,0011		0,1
Sb+As+P+Cr+ Co+Cu+Mn+Ni+V	mg/Nm ³ @10 O ₂		<0,0178		0,5
TPAH	mg/Nm ³ @10 O ₂		0,00158		0,1

29/5/2012-31/5/2012 tarihleri arasındaki ölçümler

**ODTÜ ölçümleri, sahada yapılan 3 ölçümün ortalaması olarak alınmıştır.

*** Atık Yakma Yönetmeliği'ne göre, işletmenin verdiği TOC emisyonu, atığın yakılmaya başlamasından sonra belirtilen değer kadar artabilir. Yani, atıkların yakıldığı durumda, işletmenin TOC emisyonu, bir önceki duruma göre 10 mg/Nm³ artabilir.

Nuh Çimento ve ODTÜ tarafından eş zamanlı olarak yapılan ölçümlerin birçok parametrede biribiri ile uyumlu olduğu görülmektedir. Ayrıca daha önceden yaptırılmış olan periyodik ölçümler de dahil olmak üzere hiçbir parametre “Atıkların Yakılmasına Dair Yönetmelik” Ek-2’de listelenmiş olan ilgili sınır değerini aşmamaktadır. Arıtma çamurunun çimento fabrikasında ek yakıt olarak kullanımının baca gazı emisyonları açısından yönetmelikte verilen kriterlere uygun olduğu görülmektedir.

11.1.6.3.Filtrelerde Toplanan Baca Gazı Tozunda Yapılan Ölçümler

Gerçekleştirilen yakma denemesi sırasında takip edilen bir diğer parametre ise oluşan baca gazı tozunun filtrelerde tutulan kısmında bulunan kirleticilerdir. Her ne kadar filtrelerde tutulan tozlardaki kirleticiler ile ilgili bir sınır değer bulunmuyor olsa da, bu çalışma da proje kapsamına alınmıştır. Bu kapsamda yakma deneyi sırasında baca gazından toplanan toz içinde Cr⁺⁶, Ni, Cr, V,

Pb, Zn, Cd, Cu, Ca, Mg, As, Co, Tl, Sb, Hg ve PCDD/F parametreleri TÜBİTAK-MAM tarafından ölçülmüştür. Ölçüm sonuçları Tablo 11.62’de verilmiştir.

Tablo 11.62: Endüstriyel Ölçekli Yakma Deneyi Sırasında Baca Gazından Toplanan Tozda Yapılan Ağır Metal ve PCDD/F Analizleri

Endüstriyel Ölçekli Yakma Deneyi – Baca Gazından Toplanan Toz Örnekleri			
Parametre	Birim	Değer	Ölçüm Metodu
Cr ⁺⁶	mg/kg	1,22	SM-3500-Cr B. Kolorometrik
Ni	mg/kg	22	ICP-MS EPA 6020 A
Cr	mg/kg	25,1	ICP-MS EPA 6020 A
V	mg/kg	57,3	ICP-MS EPA 6020 A
Pb	mg/kg	2,33	ICP-MS EPA 6020 A
Zn	mg/kg	1,1	ICP-MS EPA 6020 A
Cd	mg/kg	59,00	ICP-MS EPA 6020 A
Cu	mg/kg	1,10	ICP-MS EPA 6020 A
Ca	mg/kg	369062	ICP-MS EPA 6020 A
Mg	mg/kg	7690	ICP-MS EPA 6020 A
As	mg/kg	11	ICP-MS EPA 6020 A
Co	mg/kg	7	ICP-MS EPA 6020 A
Tl	mg/kg	482	ICP-MS EPA 6020 A
Sb	mg/kg	7,7	ICP-MS EPA 6020 A
Hg	mg/kg	2,3	EPA 7473
PCDD/F	ng WHO-TEQ/kg	1,3	TS EN 1948 – 3

Filtrelerde toplanan tozda bulunan kirleticiler ile ilgili bir yönetmelik kısıtlaması bulunmamaktadır. Yapılan bu analizler proje kapsamında gerçekleştirilmiştir. Ölçümler vasıtasıyla yakma denemesi sırasında hammadeden, yakıttan veya ek yakıt olarak kullanılan arıtma çamurundan prosese giriş yapan PCDD/F ve ağır metallerin ne kadarının baca gazının geçtiği filtrelerde toplandığı ve ne kadarının bacadan deşarj edildiği görülebilmektedir. Buna göre, oluşan kirleticilerin neredeyse tamamı filtrelerde tutulmuştur. Böylece bacadan alıcı ortama salınan baca gazı emisyonları sınır değerlerin altında kalmıştır. Bu parametreler ayrıca periyodik ölçüm raporunda da izlenmiştir. Ayrıca proses sonucu oluşan klinkerde iki farklı yöntem kullanılarak ağır metal analizi yapılmıştır. Bu üç analiz sonucu kullanılarak sisteme giriş yapan kirleticilerin ne kadarının klinkerde depolandığı, ne kadarının baca filtrelerinde tutulduğu ve son olarak ne kadarının baca filtrelerini de geçerek doğaya salındığı görülebilmektedir. Bu sonuçlar 1.4.4. de açıklanmıştır.

11.1.6.4. Elde Edilen Klinker Üzerinde Yapılan Analizler

Laboratuvar ölçeğinde TÇMB Ar-Ge Enstitüsünde hammadde ikamesi olarak kullanılan İzmit Karma Arıtma Çamuru numunesi, Nuh Çimento fabrikasında % 3 oranında yakıtta katılmıştır. Bu proses sonunda elde edilen klinker numunesi üzerinde TÇMB Ar-Ge Enstitüsü tarafından aşağıda belirtilen çalışmalar yürütülmüş, inceleme sonuçları aşağıda sunulmuştur:

- Komple kimyasal analiz
- Ağır metal analizleri
- Fiziksel ve mekanik testler

Tablo 11.63: Klinker Numunesinin Kimyasal Analizi

Bileşen	Birim	Klinker Numunesi	Metod/ Standard
Kızdırma Kaybı	(%)	0.30	TS EN 196-2
SiO ₂	(%)	21.84	XRF
Al ₂ O ₃	(%)	4.34	XRF
Fe ₂ O ₃	(%)	4.84	XRF
CaO	(%)	64.91	XRF
MgO	(%)	1.81	XRF
SO ₃	(%)	0.42	TS EN 196-2
Na ₂ O	(%)	0.12	XRF
K ₂ O	(%)	0.59	XRF
Cl ⁻	(%)	0.0136	XRF
Serbest CaO	(%)	1.15	Glikol Metodu (Asidimetrik)
LSF	(%)	93.50	Bogue
SİM	(%)	2.38	Bogue
ALM	(%)	0.90	Bogue
C ₃ S	(%)	57.46	Bogue
C ₂ S	(%)	19.31	Bogue
C ₃ A	(%)	3.31	Bogue
C ₄ AF	(%)	14.73	Bogue
Likit Faz	(%)	26.21	-

Tablo 11.64: Klinker Numunesinde Ağır Metal Analizi Sonuçları

	Birim	Klinker Numunesi	Metod
Cr ⁺⁶	(ppm)	0.82	DS 1020
Ni	(ppb)	41.9	ICP-MS
Cr	(ppb)	65.3	ICP-MS
V	(ppb)	103	ICP-MS
Pb	(ppb)	13.3	ICP-MS
Zn	(ppb)	119	ICP-MS
Cd	(ppb)	0.70	ICP-MS
Cu	(ppb)	34.1	ICP-MS

Klinkerde toplanan ağır metal konsantrasyonları baca gazı tozunda yapılan analizler ve periyodik ölçüm raporu ile karşılaştırıldığında, ağır metallerin büyük çoğunluğunun filtrelerde tutulduğu görülmektedir. Klinker üretim prosesinin 1450°C gibi oldukça yüksek bir sıcaklıkta gerçekleştiği göz önünde bulundurulduğunda, ağır metallerin buharlaşarak klinkerin yapısından uzaklaşmış olduğu söylenebilir. Yüksek verimde çalışan baca gazı toz filtreleri de prosesden uzaklaşan tozu ve ağır metalleri tutabilmektedir. Böylece bacadan çıkan ağır metal konsantrasyonları sınır değerlerin oldukça altında kalmaktadır.

Tablo 11.65’de projenin daha önceki aşamalarında çeşitli tesislerden alınan çamurlarla farinin karıştırılması sonucunda elde edilen klinkerlerle Nuh Çimento Fabrikasında 2 Kasım 2012 tarihli yakma çalışması sırasında oluşan klinker örneğinin özellikleri karşılaştırmalı olarak verilmektedir.

Tablo 11.65: Ankara AAT, İzmir Çiğli AAT, Nuh Çimento Karma Arıtma Çamuru ve Referans Farin ile Hazırlanan Klinkerler ile Endüstriyel Ölçekli Klinker Numunesi Karşılaştırma Tablosu

%	Referans Farin	Ankara Arıtma Çamuru				İzmir Çiğli Arıtma Çamuru			
		Karışım 1	Karışım 2	Karışım 3	Karışım 4	Karışım 1	Karışım 2	Karışım 3	Karışım 4
S.CaO	1.93	0.96	0.46	0.44	0.34	1.62	1.56	1.23	0.49
LSF	98.17	97.22	93.9	91.91	87.45	98.66	97.83	97.03	95.01
C₃S	59.83	62.11	56.67	51.51	40.17	62.05	60.27	58.84	58.7
C₂S	14.56	13.64	19.38	23.81	34.21	12.45	13.85	14.44	16.73
Likit Faz	25.91	26.13	26.35	26.78	27.91	25.49	25.42	25.11	26.09

Tablo 11.65 (devam): Ankara AAT, İzmir Çiğli AAT, Nuh Çimento Karma Arıtma Çamuru ve Referans Farin ile Hazırlanan Klinkerler ile Endüstriyel Ölçekli Klinker Numunesi Karşılaştırma Tablosu

%	Referans Farin	İzmit Karma Arıtma Çamuru				Endüstriyel Ölçekli Klinker Yakıtı %3 Karma Arıtma Çamuru Katıldığı Durum
		Karışım 1	Karışım 2	Karışım 3	Karışım 4	
S.CaO	1.93	2.35	1.56	0.95	0.45	1.15
LSF	98.17	98.38	97.39	96.35	95.58	93.50
C₃S	59.83	59.71	60.81	60.7	61	57.46
C₂S	14.56	15.48	15.11	15.33	15.4	19.31
Likit Faz	25.91	26.98	26.69	26.49	26.14	26.21

TÇMB-ARGE bünyesinde yapılan pişelebilirlik deneyleri sonucunda elde edilen klinkerin özellikleri ile Nuh Çimento fabrikasında yapılan ve arıtma çamurunun ek yakıt olarak kullanıldığı yakma denemeleri sonucunda oluşan klinkerin özellikleri birbirine çok yakındır. Bu sonuç, bağımsız olarak yapılan deneylerin birbirleri ile uyumlu olduğunu göstermektedir.

11.1.6.5. Endüstriyel Ölçekli Deneme Sonucu Elde Edilen Klinker ile Oluşturulan Çimentonun Kalite Açısından Karşılaştırılması

Klinker numunesi, %5 alçı taşı ilavesi ile laboratuvar tipi bilyalı değirmende 3500 cm²/g Blaine değerine kadar öğütülmüştür. Bu numune kullanılarak çimento örnekleri hazırlanmıştır. Analiz sonuçları Tablo 11.66'da verilmiştir

Nuh Çimento fabrikasında yapılan deneme sırasında elde edilen klinker ile bir çimento örneği elde edilmiştir. Oluşan çimento CEM I 42.5 N Portland Çimentosu sınıfına girmektedir. Nuh Çimento fabrikasının ürettiği ürünler arasında yer alan bu çimento çeşidi bu denemeden sonra da üretilebilmiştir. Sonuç olarak, arıtma çamurunun çimento fabrikalarında klinker üretim prosesinde ek yakıt olarak kullanılmasının, üretilen klinker üzerinde olumsuz bir etkisinin olmadığı görülmüştür.

Tablo 11.66: Tam Ölçekli Yakma Deneyi Sonucu Elde Edilen Klinker ile Oluşturulan Çimentonun Özellikleri

Bileşen	Birim	Endüstriyel Ölçekli Deneme Klinker Numunesi	CEM I 42.5 N Portland Çimentosu	Metod/ Standard
Yoğunluk	g/cm ³	3.19	-	Dijital Piknometre
Özgül Yüzey	cm ² /g	3460	-	Otomatik Blaine Cihazı
2 Günlük Basınç Dayanımı	MPa	19.6	>10	TS EN 196-1
7 Günlük Basınç Dayanımı	MPa	35.6	-	TS EN 196-1
28 Günlük Basınç Dayanımı	MPa	50.4	>42.5 <62.5	TS EN 196-1
Kıvam Suyu	%	24	-	TS EN 196-3
Priz Başlangıcı	Dak	240	>60	TS EN 196-3
Priz Sonu	Dak	385	-	TS EN 196-3
Hacim Genleşmesi	mm	1	<10	TS EN 196-3

11.1.7. TESİSLER İÇİN ÇAMUR TAŞIMA MALİYETİ BAKIMINDAN OPTİMUM YARARLI KULLANIM YÖNTEMLERİNİN SEÇİLMESİ

Çamurların bertaraf yöntemleri olarak iki yöntem üzerinde çalışılmıştır. Bu yöntemler, çamurların kalorifik değerlerinden faydalanmak amacı ile çimento fabrikalarında ek yakıt olarak kullanılması ve tarım alanlarında gübre olarak değerlendirilmesidir. Bu değerlendirmelerde çamurun deponi sahalarına atılarak bertarafı sürdürülebilir bir yöntem olarak görülmediğinden kullanılmamıştır.

Çamurun kurutulduktan sonra öncelikle yararlı kullanımının sağlanması, arta kalan çamurun ise depolama sahalarına gönderilmesi öngörülmüştür. Yararlı kullanım için çamurun özellikle çimento fabrikalarında ek yakıt olarak ve tarımsal amaçlı kullanılabilmesi düşünülmüştür. Çimento fabrikalarında ek yakıt olarak kullanılacak çamurun kamyon ile hangi çimento fabrikasına gönderileceği ya da aynı ilde bulunan tarım arazilerine gönderilip gönderilmeyeceğinin belirlenmesi için, MatLAB programı aracılığıyla taşıma maliyetleri bazında iki farklı senaryo üzerinde optimizasyon çalışmaları yapılmıştır. Aşağıda detaylıca bahsedilecek olan iki senaryoyu birbirinden ayıran temel özellik; varsayılan çamur bertaraf yöntemlerinin ve bu yöntemler için çamur kapasitelerinin iki senaryo için de farklı olmasıdır. Birinci senaryoda kurutulmuş çamurların hem çimento fabrikalarına hem de tarım alanlarına gönderilebileceği öngörülmüştür. Bu senaryoda çamurun yakıt olarak klinker üretimi için gerekli enerjinin en fazla %3'ünü karşılayacağı varsayımı

kullanılmıştır. Bu değer enerji eldesi için çamuru ek yakıt olarak kullanan Nuh Çimento'dan alınmıştır. İkinci senaryo ise %3 değerinin %10'a kadar çıkarılabileceği varsayımıyla oluşturulmuştur. Bu yükseltilmiş değer için Çimento Müstahsilleri Birliği'nden olabirlik açısından onay alınmıştır. İkinci senaryoda tarım amaçlı kullanım öngörülmemiştir.

11.1.7.1.Optimizasyon Hedef Fonksiyonu

Optimizasyon modelinin hedefi, belirlenen kapasiteler aşılmadan, bir coğrafi bölge (örneğin Akdeniz Bölgesi, İç Anadolu Bölgesi) içerisindeki tüm arıtma tesislerinde üretilen çamurların toplam taşıma maliyetleri en ucuz olacak şekilde yine aynı bölge içerisindeki çimento fabrikalarına ve tarım arazilerine göndermektir. Çamurun taşınacağı bu noktalar bundan sonra “bertaraf noktası” olarak tanımlanacaktır. Modelin karar değişkenlerini tesislerden bertaraf noktalarına ulaştırılacak çamur miktarları oluşturmaktadır. Taşıma maliyeti bazlı optimizasyon denklemi kurulurken, Gül ve Elevli'nin (2006) çalışmasından yararlanılmıştır. Bu çalışmadan yararlanılarak toplam nakliye giderleri hesaplanmıştır. Bunun yanında çamurun çimento fabrikaları tarafından 30 TL/kuru ton fiyatla satın alınacağı varsayılmış, bu maliyet nakliye masraflarına eklenmiştir. Gerçel (reel) sayılı doğrusal programlama ile çamur bertaraf noktaları için taşıma maliyetinin optimizasyonu gerçekleştirilmiştir. Hedef fonksiyonu aşağıda verildiği gibidir:

$$\text{Min } Z = \sum CT_{iy} + A * K * \sum M_{iy}$$

$$\text{Min } Z = \sum (CTT_{iy} + CTD_{iy}) + A * K * \sum M_{iy}$$

$$\text{Min } Z = \sum ((2 * n_{iy} * x_{iy} * b_k * c_A) + CTD_{iy}) + A * K * \sum M_{iy}$$

$$\text{Min } Z = \sum ((2 * (\text{yukarı yuvarla } (M_{iy}/K_k)) * x_{iy} * b_k * c_A) + CTD_{iy}) + A * K * \sum M_{iy}$$

Burada;

Z= Çamurların bölgedeki tüm arıtma tesislerinden bertaraf noktalarına gönderilmeleri ile oluşan toplam bölgesel yıllık taşıma maliyeti (TL/yıl)

CT_{iy} = Arıtma tesisi i'den çıkan çamurunun bertaraf noktası y'ye nakliyesi için toplam maliyet (TL/yıl)

M_{iy} = AAT i'de üretilip, bertaraf noktası y'ye gönderilecek olan yıllık çamur miktarı (ton/yıl)

CTT_{iy} = Arıtma tesisi i'nin çamurunun bertaraf noktası y'ye nakliyesi için akaryakıt bedeli (TL/yıl)

CTD_{iy} = Arıtma tesisi i'nin çamurunun bertaraf noktası y'ye nakliyesi için lastik, bakım onarım ve personel gideridir (TL/yıl).

n_{iy} = Arıtma tesisi i'den bertaraf noktası y'ye kadar çamurun taşınması için yapılması gereken yıllık sefer sayısı (1/yıl), (AAT i'de üretilip, bertaraf noktası y'ye gönderilecek olan çamur miktarının (M_{iy}) arıtma tesisi i'deki çamuru bertaraf noktası y'ye taşımak için kullanılacak kamyonun kapasitesine (K_k) bölümünden oluşan sayının yukarı yuvarlanması ile elde edilen tamsayı; n_{iy} = yukarı yuvarla (M_{iy}/K_k)),

x_{iy} = Arıtma tesisi i ile bertaraf noktası y arasındaki mesafe (km),

b_k = 'k' kapasiteli kamyon için birim akaryakıt tüketimi (L/km),

c_A = Birim akaryakıt fiyatı (TL/L),

K_k = Arıtma tesisi i'deki çamuru bertaraf noktası y'ye taşımak için kullanılacak kamyonun kapasitesi (ton)

A = Çamurun kuru tonunun başına çimento fabrikalarına ödenecek para (30 TL/kuru ton)K = Taşınan çamurların kuru madde oranıdır (0.9).

11.1.7.2. Varsayımlar

AAT'ler ve çimento fabrikaları aralarındaki taşıma mesafeleri, ilgili noktalar arasındaki gerçek karayolu uzunlukları hesaplanarak bulunmuştur. Çimento fabrikalarının tümünün arıtma çamurlarını ek yakıt olarak alacakları varsayılmıştır. Türkiye'de bulunan 191 arıtma tesisinin ve Türkiye Çimento Müstahsilleri Birliği'ne bağlı 48 çimento fabrikanın coğrafi konumları Google Earth ve ArcGIS (versiyon 9.3) yazılımları ve uydu fotoğrafları yardımıyla belirlenmiştir. Anketlerde coğrafi koordinat bilgisi olmayan ve Google Earth'teki uydu görüntüsünün eski olması ve dolayısıyla tesisin görüntülenememesi nedenleriyle koordinatları belirlenemeyen tesislerin (28 AAT) konumları için buldukları ilçe merkezleri esas alınmıştır. Bölgesel bazlı yapılan bu çalışmada, bir bölgedeki tüm AAT'lerin çamurlarını sadece o bölgedeki çimento fabrikalarında bertaraf edeceği varsayılmıştır. Çamurun tarım alanlarında kullanımı seçeneğinde de il bazında bir yaklaşıma gidilmiş ve çalışmalar bir AAT'nin çamurunun ancak bulunduğu il sınırları içerisindeki bir tarım alanında kullanılabileceği varsayılmıştır.

- Taşınan Çamurların Kuru Madde Oranları

Taşınacak çamurun miktarına bağlı olan nakliye giderleri dikkate alındığında, hesaplamalar tüm çamurların %90 kurulukta olacağı üzerine yapılmıştır. Islak çamurun taşınması çok daha pahalı olacağından, ve çimento fabrikalarının kuru çamuru almaya daha istekli olabileceklerinden dolayı bu varsayım kullanılmıştır.

$$K = 0.9$$

- Yakıt Tüketimi

Gül ve Elevli'nin (2006) çalışmasına göre 24 ton kapasitedeki kamyonun taşıma maliyetlerini azaltmak için en uygun seçim olduğuna karar verilmiş ve hesaplar nakliyenin 24 ton kapasiteli kamyonlar ile yapılacağı varsayımıyla gerçekleştirilmiştir. Yine aynı çalışmaya göre yakıt tüketimi 24 ton'luk kamyon için 0,32 L/km'dir (b_k).

$$b_k = 0,32$$

- Akaryakıt Fiyatı

Akaryakıt fiyatı (c_A) olarak 5 Kasım 2012 tarihli motorin fiyatı olan KDV dahil 4,30 TL/L baz alınmıştır.

$$c_A = 4,30$$

- Lastik, Bakım-onarım ve Personel Giderleri

Lastik, bakım-onarım ve personel giderlerinin (CTD_{iy}) hesaplanmasında Gül ve Elevli'nin (2006) çalışması baz alınmış, bu giderlerin nakliye bedelinin %40'ı olduğu kabul edilmiştir.

$$CTD_{iy} = 0,4$$

- Çimento Fabrikalarına Ödenecek Ücret

Çamurun çimento fabrikalarında ek yakıt olarak kullanımı söz konusu olduğunda, çimento fabrikalarının gerekli altyapıyı oluşturma, daha düşük ısıya değere sahip yakıt yakma nedeniyle oluşabilecek kayıplara bağlı kapasite değişiklikleri, ve işletme ile ilgili olası problemler nedenleriyle belirli riskleri ve yatırım maliyetlerini göze almak durumunda kalmaları mümkündür. Çamurun çimento fabrikalarında kullanımını tercih edilebilir bir yöntem olması adına, AAT'lerin çimento fabrikalarına gönderdikleri çamur için belirli bir

ücret ödeyecekleri düşünülmüştür. AAT'lerin çimento fabrikalarına gönderdikleri çamurun kuru tonu başına 30 TL ödeyecekleri varsayılmıştır.

$$A = 30$$

11.1.7.3.Sistem Kısıtları

- Çamur yararlı kullanım yöntemleri ve bu yöntemlerin çamur kapasiteleri

Önceden de bahsedildiği gibi iki adet senaryo geliştirilmiştir. Bu iki senaryoyu ayıran temel varsayımlar yararlı kullanım yöntemleri ve bu yöntemler kapsamında kullanılacak çamur miktarlarıdır (kapasite). Birinci senaryoda çamur bertarafında iki yöntem esas alınmıştır. Bunlardan birincisi çamurların çimento fabrikalarında ek yakıt olarak yakılması ile yararlı kullanımı, ikincisi ise çamurların pamuk (Ege, Marmara, Akdeniz ve Güneydoğu Anadolu Bölgelerinde) ve buğday (İç Anadolu ve Doğu Anadolu Bölgelerinde) yetiştirilen tarım alanlarında kullanılmasıdır. Yalnızca çamur stabilizasyonu yapan tesislerin çamurlarını tarım alanlarında bertaraf edebilecekleri dikkate alınmıştır. İkinci senaryoda ise kurutulmuş çamurun sadece çimento fabrikalarında kullanılabileceği varsayılmıştır.

Çimento fabrikalarında klinker üretim kapasitesine göre kullanılan enerjinin birinci senaryoda % 3'ünün, ikinci senaryoda %10'unun çamurdan elde edileceği kabul edilmiştir. Tarım arazisinde ise kullanılacak olan çamurun güvenli doz olarak seçilen 1 ton kuru çamur/dekar değerinde kullanılacağı kabul edilmiştir.

Birinci senaryo için kısıtlamalar şu şekildedir;

$$M_{iy} \leq (0.03*U)/V$$

$$M_{iy} \leq D/1$$

İkinci senaryo için ise kısıt aşağıdaki gibi ifade edilmektedir;

$$M_{iy} \leq (0.1*U)/V$$

Burada;

U = Çimento fabrikalarının klinker üretimleri için gerekli enerji miktarı (kcal/yıl)

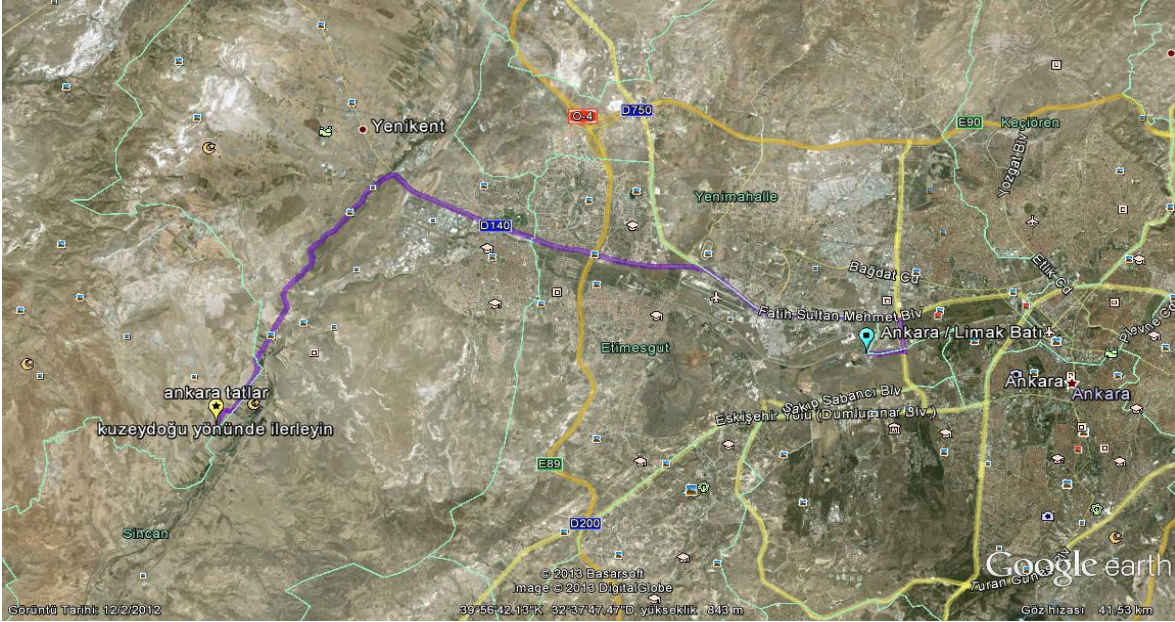
V = Çamur için esas alınan tipik kalorifik değer (3164000 kcal/kg)

D = Tarım arazilerinin toplam alanı (dekar)

- AAT'lerin yararlı kullanım noktalarına uzaklıkları

AAT'ler ile bertaraf noktaları arasındaki taşıma mesafelerinin 250 km'yi geçemeyeceği varsayılmıştır. Her bölgedeki çimento fabrikası ve atıksu arıtma tesisi arasındaki mesafe Şekil 11.87'da örneği görüldüğü gibi Google Earth programıyla tespit edilmiştir. Ancak, hangi tarlada hangi tür ekim yapıldığı bilgisi mevcut olmadığından tarım alanları bir bütün olarak düşünülmüş, tarım alanları ve AAT'ler arasındaki mesafeler hesaplanırken AAT'ye en yakın ve en uzak tarım alanlarının kuşbakışı uzaklıklarının ortalaması kullanılmıştır.

$$x_{iy} \leq 250$$



Şekil 11.87: Örnek Harita Görüntüsü (Bir arıtma tesisi ve çimento fabrikası arasındaki karayolu)

11.1.7.4. Senaryo 1 için Optimizasyon Sonuçları

Önceden de belirtildiği gibi, birinci senaryoda çamurların bertarafı, hem çimento fabrikalarında hem de tarım alanlarında gerçekleşebilmektedir. Senaryo 1 için tüm varsayımlar ve kısıtlamalar doğrultusunda optimizasyon modeli yedi coğrafi bölge için ayrı ayrı çalıştırılmıştır. Bölgesel bazlı optimizasyon yapıldığı için kapasitelerin dolmadığı durumlarda, tüm bölge için en ucuz çözümün aynı zamanda her AAT için de en ucuz çözüm olacağı beklenmektedir. Bu durumda her AAT'nin kendisine en yakın yararlı kullanım noktalarına çamurlarını gönderecekleri anlamı doğabilir. Ancak bir AAT'ye en yakın olarak nitelendirilen herhangi bir yararlı kullanım noktasındaki kapasitenin başka AAT'lerden gelen çamurlar ile doldurulmuş olması ihtimali de vardır. Bu durumda AAT'ler çamurlarını hangi miktarlarda nereye gönderecekleri konusunda birbirlerine bağımlı hale gelmektedirler. Bu gibi durumlarda sistem bölgedeki tüm AAT'lerin toplam taşıma

maliyetlerinin en ucuz olacağı şekilde bir sonuç çıkartacaktır ve bu sonucun her bir AAT'nin kendine en yakın bertaraf noktasına çamur gönderememesi gibi durumları da doğurması muhtemeldir.

Akdeniz Bölgesi

Türkiye Çimento Müstahsilleri Birliği'ne üye olan ve Akdeniz Bölgesi sınırları içerisinde bulunan 6 çimento fabrikasının yerleri ve yine akdeniz bölgesi sınırları içerisinde bulunan 40 tane atıksu arıtma tesisinin yerleri belirlenmiştir. Sistem kısıtlarının aşılmaması gerektiği göz önünde bulundurulduğunda bölgede arıtma tesislerinin çimento fabrikalarına olan mesafeleri 11,6 km ile 245 km aralığında değişmektedir. AAT'lerin tarım arazilerine olan mesafelerine bakıldığında bu arazilere en yakın mesafedeki AAT 37,5 km ile Osmaniye, en uzağı ise 105.85 km ile Mersin Karaduvar AAT'dir. Önceden de bahsedildiği gibi, çamurların tarım alanlarında kullanılması için tesiste çamur stabilizasyonu yapılması gerekmektedir. Aynı zamanda il sınırları içerisinde pamuk ve buğday yetiştirilen tarım alanlarının mevcut olması gereklidir. Akdeniz Bölgesi'nde çamur stabilizasyonu yapan AAT'ler Tablo 11.67'de verilmektedir.

Tablo 11.67: Akdeniz Bölgesi'nde Pamuk ve Buğday Yetişen İllerde Çamur Stabilizasyonu Yapan Tesisler

İL	AAT İsmi
ADANA	Adana/Seyhan AAT
	Adana/Yüreğir AAT
	Antalya/Turaş Tur.Tic.Aş.Boğazkent AAT
ANTALYA	Antalya/Kumköy AAT
	Antalya/Titreyengöl AAT
	Antalya/Manavgat Belediyesi AAT
HATAY	Hatay/İskenderun Belediyesi AAT
	Hatay/Antakya Belediyesi AAT
MERSİN	Mersin/Karaduvar AAT
	Mersin/Kargıpınarı Belediyesi AAT
OSMANİYE	Mersin/Silifke Belediyesi AAT
	Osmaniye Belediyesi AAT

Çamurun yararlı kullanımı için Akdeniz Bölgesi'ndeki çamurların çimento fabrikalarına ve tarım arazilerine optimum dağılımları Tablo 11.68'de verilmiştir. İlgili miktarları yararlı kullanım

noktalarına ulaştırmanın maliyetleri ise Tablo 11.69'da verilmiştir. Antalya yakınında birçok otel ile 23 tane atıksu arıtma tesisi olmasına rağmen, bölgeye en yakın imento fabrikası Burdur'daki AS imento'dur. AS imento Akdeniz bölgesindeki en yüksek kapasiteli imento fabrikasıdır. imko Narlı Şubesi Kahramanmaraş'ta bulunan bir fabrikadır ve bir çok arıtma tesisine mesafesi uzak bir tesistir. Bu sebepten sadece Hatay bölgesinde bulunan tesislerden seçimler olmuştur. Tablo 11.69'da maliyetleri oluşturan imento fabrikalarına ödenecek olan miktar, nakliye ve diğer giderler görülebilmektedir. Bu bölgede en yüksek maliyete sahip olan tesis Antalya/Hurma ileri Biyolojik AAT'dir. AAT'lerin sadece ürettikleri çamur miktarları değil, aynı zamanda yararlı kullanım noktalarına olan uzaklıkları da maliyetleri etkilemektedir. Tablo 11.69'da görülebileceği gibi imento fabrikalarına ödenecek olan miktar bazı tesisler için toplam maliyetin %90'nına varan mertebelere ulaşabilmektedir. Bu da çamur alımı fiyatının belirlenmesinde AAT ve imento işletmecileri arasında anlaşma ve işbirliğinin çok önemli olabileceğine işaret etmektedir. Çimento fabrikalarının bu konuda gösterebilecekleri özveri, maliyetlerin azaltılması yönünde etkili olacaktır. Bu durum özellikle küçük tesisler için geçerlidir. 24 tonluk kamyonlar kullanıldığı için küçük bir tesis 1 yıl içinde sadece 1 seferlik % 90 kuru çamurun taşınmasına olanak sağlayacak miktarda çamur üretebilmektedir. Buna bağlı olarak yıllık nakliye masrafı çok düşük çıkabilmekte, buna mukabil çamurun alınması için imento fabrikalarına denek miktar nispeten yüksek olabilmektedir. Yüksek amur miktarına sahip tesislerde sefer sayısı arttığı için maliyetler arasındaki oranlar daha farklı olabilmektedir.

Tablo 11.68: Akdeniz Bölgesi 1. Senaryo: Çamurların yararlı kullanım noktalarına optimum dağılımları (çamur miktarları kg/saat olarak verilmiştir)

AAT İsmi	TOPLAM %90 KURULUKTA-Kİ ÇAMUR MİKTARLARI	Adana Çimento	AS Çimento	Çimko Çimento Narlı Şubesi	Çimsa Mersin Çimento	Göлтаş Göller Bölgesi Çimento	Mersin Beyaz Çimento	Tarım
Adana/Karaisali AAT	2.14	2.14						
Adana/Kozan AAT	68.18	68.18						
Adana/Seyhan AAT	1254.31	1,254.31						
Adana/Yumurtalık AAT	3.26	1.15			1.05		1.06	
Adana/Yüreğir AAT	548.57	548.57						
Antalya/Alanya AAT	809.37		809.37					
Antalya/Beldibi AAT	86.29		86.29					
Antalya/Belek 1 AAT	170.16		170.16					
Antalya/Çamyuva AAT	108.37		108.37					
Antalya/Gazipaşa AAT	32.71		32.71					
Antalya/Hurma İleri Biyolojik AAT	1495.19		1,495.19					
Antalya/Kemer AAT	175.75		175.75					
Antalya/Kızıltepe(Göynük) AAT	79.65		79.65					
Antalya/Konaklı AAT	100.96		100.96					
Antalya/Kumköy AAT	146.20							146.20
Antalya/Kumluca AAT	33.70		33.70					
Antalya/Lara İleri Biyolojik AAT	265.01		265.01					
Antalya/Mahmutlar AAT	60.55		60.55					
Antalya/Manavgat AAT	204,79							204,79
Antalya/Okurcalar AAT	30,53		30,53					
Antalya/Serik AAT	73,59		73,59					
Antalya/Tekirova AAT	30,52		30,52					
Antalya/Titrengöl AAT	30,52							30,52
Antalya/Turaş Tur.Tic. AŞ. İncekum AAT	53,99		53,99					

Tablo 11.68 (devam): Akdeniz Bölgesi 1. Senaryo: Çamurların yararlı kullanım noktalarına optimum dağılımları (çamur miktarları kg/saat olarak verilmiştir)

AAT İsmi	TOPLAM %90 KURULUKTA-Kİ ÇAMUR MİKTARLARI	Adana Çimento	AS Çimento	Çimko Çimento Narlı Şubesi	Çimsa Mersin Çimento	Göлтаş Göller Bölgesi Çimento	Mersin Beyaz Çimento	Tarım
Antalya/Turaş Tur.Tic. AŞ. Oba-Tosmur-Cikcilli AAT	94,61		94,61					
Antalya/Turaş Tur.Tic. AŞ. Türkler AAT	25,78		25,78					
Antalya/Turaş Tur.Tic.AŞ.Belek2 AAT	297,63		297,63					
Antalya/Turaş Tur.Tic.AŞ.Boğazkent AAT	38,76		3,31					35,45
Hatay/Antakya AAT	37,31							37,31
Hatay/İskenderun AAT	161,83							161,83
Hatay/Payas AAT	9,95	9,95						
Isparta/Eğirdir AAT	68,12					68,12		
Isparta/Merkez AAT	296,21					296,21		
Mersin/Atakent AAT	8,20				4,08		4,12	
Mersin/Karaduvar AAT	868,51				476,08		392,43	
Mersin/Kargıpınarı AAT	9,95				4,95		5,00	
Mersin/Kızıkalesi AAT	5,97				2,96		3,01	
Mersin/Silifke AAT	24,51							24,51
Mersin/Tarsus AAT	673,92				360,28		313,63	
Osmaniye/Merkez AAT	141,45							141,45
Nakliyesi yapılan çamur miktarı (kg/saat)	8.627,02	1.884,30	4.027,66	-	849,40	364,33	719,27	782,07
Nakliyesi yapılan çamur miktarı (ton/gün)	207,05	45,22	96,66	-	20,39	8,74	17,26	18,77
Nakliyesi yapılan çamur miktarı (ton/yıl)	75.572,70	16.506,48	35.282,29	-	7.440,73	3.191,51	6.300,79	6.850,91
Yararlı kullanım Yöntemlerinin kapasiteleri (ton/yıl):	155.348,33	19.845,13	37.099,61	29.897,12	10.578,32	17.938,27	9.491,15	30.498,72
Yararlı kullanım yöntemlerinin kapasitelerinin kullanılan yüzdeleri (%)	49	83	95	0	70	18	66	22

Tablo 11.69: Akdeniz Bölgesi 1. Senaryo: Çamurların yararlı kullanım noktalarına optimum şekilde dağıtılmasının maliyetleri

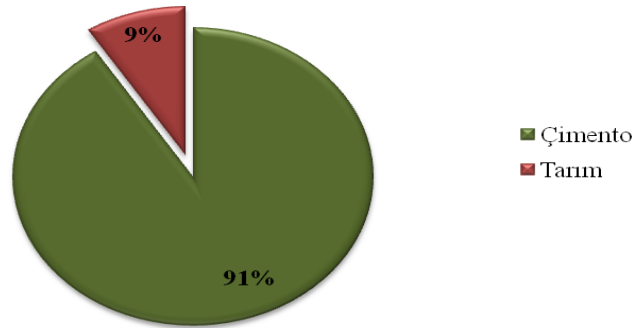
AAT'lerin 2012yılı maliyetleri bazında %90 kuruluktaki çamurları çimento fabrikalarına ve tarım alanlarına toplam taşıma maliyetleri	Yakıt Maliyeti (TL)	Lastik Bakım Onarım Ve Personel Gideri Maliyeti (TL)	Çimento fabrikalarına ödenecek ücret (TL)	2012 YILI İÇİN TOPLAM BERTARAF MALİYETİ (TL)
Adana/Karaisali AAT	194	78	455	727
Adana/Kozan AAT	5.731	2.292	14.514	22.537
Adana/Seyhan AAT	27.603	11.041	267.002	305.646
Adana/Yumurtalık AAT	1.156	462	694	2.312
Adana/Yüreğir AAT	6.583	2.633	116.774	125.990
Antalya/Alanya AAT	163.733	65.493	172.289	401.515
Antalya/Beldibi AAT	8.639	3.456	18.368	30.463
Antalya/Belek 1 AAT	17.858	7.143	36.222	61.223
Antalya/Çamyuva AAT	13.100	5.240	23.069	41.409
Antalya/Gazipaşa AAT	8.091	3.236	6.963	18.290
Antalya/Hurma İleri Biyolojik AAT	105.782	42.313	318.277	466.372
Antalya/Kemer AAT	20.392	8.157	37.411	65.960
Antalya/Kızıltepe(Göynük) AAT	8.834	3.534	16.955	29.323
Antalya/Konaklı AAT	19.652	7.861	21.491	49.004
Antalya/Kumköy AAT	15.017	6.007	-	21.024
Antalya/Kumluca AAT	6.010	2.404	7.174	15.588
Antalya/Lara İleri Biyolojik AAT	24.559	9.824	56.412	90.795
Antalya/Mahmutlar AAT	13.482	5.393	12.889	31.764
Antalya/Manavgat AAT	20.733	8.293	-	29.026
Antalya/Okurcalar AAT	5.548	2.219	6.498	14.265
Antalya/Serik AAT	8.025	3.210	15.666	26.901
Antalya/Tekirova AAT	4.260	1.704	6.497	12.461
Antalya/Titrengöl AAT	3.368	1.347	-	4.715
Antalya/Turaş Tur.Tic. AŞ. İncekum AAT	9.687	3.875	11.492	25.054
Antalya/Turaş Tur.Tic. AŞ. Oba-Tosmur-Cikcilli AAT	19.938	7.975	20.139	48.052
Antalya/Turaş Tur.Tic. AŞ. Türkler AAT	2.262	905	5.487	8.654
Antalya/TuraşTur.Tic.Aş.Belek2 AAT	34.196	13.679	63.357	111.232
Antalya/TuraşTur.Tic.Aş.Boğazkent AAT	4.156	1.662	704	6.522
Hatay/Antakya AAT	1.828	731	-	2.559
Hatay/İskenderun AAT	6.448	2.579	-	9.027
Hatay/Payas AAT	1.145	458	2.117	3.720

Tablo 11.69 (devam): Akdeniz Bölgesi 1. Senaryo: Çamurların yararlı kullanım noktalarına optimum şekilde dağıtılmasının maliyetleri

AAT'lerin 2012yılı maliyetleri bazında %90 kuruluktaki çamurları çimento fabrikalarına ve tarım alanlarına toplam taşıma maliyetleri	Yakıt Maliyeti (TL)	Lastik Bakım Onarım Ve Personel Gideri Maliyeti (TL)	Çimento fabrikalarına ödenecek ücret (TL)	2012 YILI İÇİN TOPLAM BERTARAF MALİYETİ (TL)
Isparta/Eğirdir AAT	3.007	1.203	14.500	18.710
Isparta/Merkez AAT	5.939	2.376	63.054	71.369
Mersin/Atakent AAT	1.068	427	1.746	3.241
Mersin/Karaduvar AAT	9.889	3.956	184.878	198.723
Mersin/Kargıpınarı AAT	581	232	2.118	2.931
Mersin/Kızılkalesi AAT	961	384	1.272	2.617
Mersin/Silifke AAT	1.669	668	-	2.337
Mersin/Tarsus AAT	12.643	5.057	143.456	161.156
Osmaniye/Merkez AAT	5.352	2.141	-	7.493

Tablo 11.68'de görülebileceği gibi, tarım ve çimento fabrikaları için belirlenen toplam kapasitelere göre toplam çamur miktarları daha azdır. Çimento fabrikalarının kapasitelerinin yeterli olması, tarımda yararlı kullanım seçeneği olmasa dahi tüm çamurun kullanılabilmesine işaret etmektedir. Akdeniz Bölgesi'nde çamurların tarımda kullanılması için belirlenen kapasitenin % 22'sinin dolduğu gözlenmiştir. Bölgedeki toplam kapasitenin (çimento fabrikası ve tarım) % 49'u kullanılmıştır. Akdeniz Bölgesi çamur yararlı kullanım yöntemlerinin seçim yüzdeleri Şekil 11.88'de verilmiştir.

Akdeniz Bölgesinde Çamurun Bertaraf Yöntemlerinin Seçim Yüzdesi



Şekil 11.88: Akdeniz Bölgesi Çamur Yararlı Kullanım Seçim Yüzdesi

Doğu Anadolu Bölgesi

Türkiye Çimento Müstahsilleri Birliği'ne üye olan ve Doğu Anadolu Bölgesi sınırları içerisinde bulunan 5 çimento fabrikası, 7 adet de atıksu arıtma tesisi mevcuttur. Bölgede bir arıtma tesisine en yakın çimento fabrikası 3,2 km uzaklıkta, en uzağı ise 137 km uzaklıktadır. Tarım arazilerine en yakın mesafeye (42 km) sahip olan arıtma tesisi Bingöl/Toki Konutları AAT ve en uzak mesafeye (70,9 km) sahip olan ise Van/Erciş AAT'dir. Doğu Anadolu Bölgesi tarım açısından geniş bir bölgeye sahip olmasına rağmen buğday ve pamuk yetiştiriciliğinde büyük bir alana sahip değildir. Bunun yanınca arıtma tesisi sayısının az olması ve mevcut tesislerde stabilizasyon uygulanmaması dolayısıyla sadece iki arıtma tesisinin çamuru tarımda kullanılmak üzere seçilebilmektedir. Bunlar Tablo 11.70'te gösterilmiştir.

Tablo 11.70: Doğu Anadolu Bölgesi'nde Pamuk ve Buğday Yetişen İllerde Çamur Stabilizasyonu Yapan Tesisler

İL	AAT İsmi
MALATYA	Malatya/Battalgazi
VAN	Van/Merkez

Optimizasyon ile elde edilen optimum dağılımlar ve bu dağılımların gerçekleştirilmesinin maliyetleri sırasıyla Tablo 11.71 ve Tablo 11.72'de gösterilmiştir. Doğu Anadolu Bölgesi'nde en yüksek yıllık taşıma maliyetine sahip olan tesis Erzincan/Merkez AAT'dir.

Tablo 11.71: Doğu Anadolu Bölgesi 1. Senaryo: Çamurların yararlı kullanım noktalarına optimum dağılımları (çamur miktarları kg/saat olarak verilmiştir)

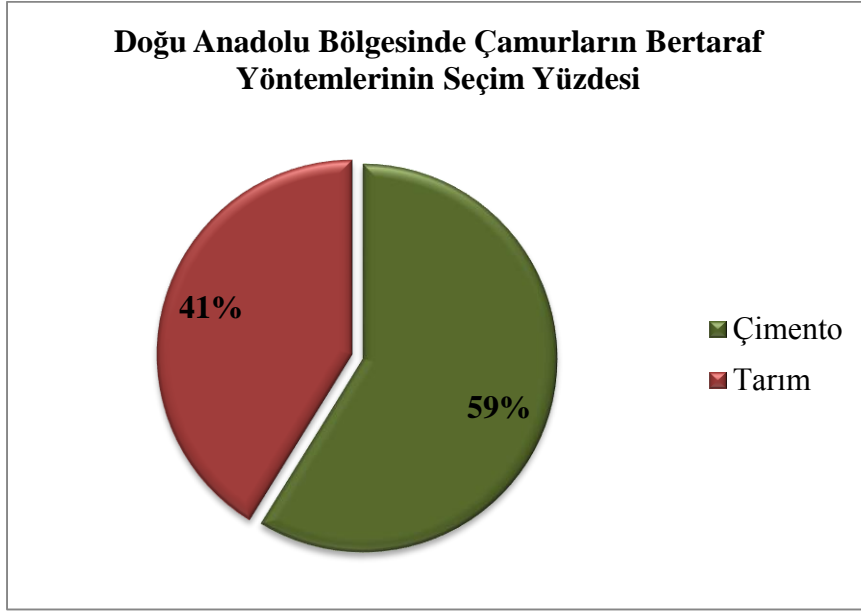
AAT İsmi	TOPLAM %90 KURULUKTA-Kİ ÇAMUR MİKTARLARI	Aşkale- Erzurum Çimento	Aşkale -Van Çimento	Elazığ Altınova Çimento	Kars Çimento	Yurtçim Çimento	Tarım
Bingöl/TOKİ Konutları	175,52					175,52	
Elazığ/Mollakendi	198,77			198,77			
Erzincan/Merkez	210,97	210,97					
Malatya/Battalgazi	655,38			3,57			651,81
Van/Edremit	13,84		13,84				
Van/Erciş	15,11		15,11				
Van/Merkez	312,38		312,38				
Nakliyesi yapılan çamur miktarı (kg/saat)	1581,97	210,97	341,33	202,34	0,00	175,52	651,81
Nakliyesi yapılan çamur miktarı (ton/gün)	37,97	5,06	8,19	4,86	-	4,21	15,64
Nakliyesi yapılan çamur miktarı (ton/yıl)	13.858,06	1.848,10	2.990,05	1.772,49	-	1.537,56	5.709,87
Yararlı kullanım Yöntemlerinin kapasiteleri (ton/yıl):	42.784,44	13.951,99	8.628,32	2.847,35	2.415,93	6.471,24	8.469,62
Yararlı kullanım yöntemlerinin kapasitelerinin kullanılan yüzdeleri (%)	32	13	35	62	0	24	67

Tablo 11.72: Doğu Anadolu Bölgesi 1. Senaryo: Çamurların yararlı kullanım noktalarına optimum şekilde dağıtılmasının maliyetleri

AAT'lerin 2012yılı maliyetleri bazında %90 kuruluktaki çamurları çimento fabrikalarına ve tarım alanlarına toplam taşıma maliyetleri	Yakıt Maliyeti (TL)	Lastik Bakım Onarım Ve Personel Gideri Maliyeti (TL)	Çimento fabrikalarına ödenecek ücret (TL)	2012 YILI İÇİN TOPLAM BERTARAF MALİYETİ (TL)
Bingöl/TOKİ Konutları	20.392	8.157	37.363	65.912
Elazığ/Mollakendi	2.612	1.045	42.312	45.969
Erzincan/Merkez	29.408	11.763	44.909	86.080
Malatya/Battalgazi	32.449	12.979	760	46.188
Van/Edremit	53	21	2.946	3.020
Van/Erciş	1.932	773	3.217	5.922
Van/Merkez	7.596	3.038	66.495	77.129

Doğu Anadolu Bölgesi atıksu arıtma tesislerinin ve üretilen çamur miktarlarının az olduğu bir bölgedir. AAT sayısının ve çamur miktarlarının az olması, çamurun yararlı kullanımı için belirlenen kapasitelerin aşılmasını önlemektedir. Ancak optimizasyon çalışmalarının sonucuna göre Kars Çimento'nun yakınlarında arıtma tesisi olmadığından dolayı Kars Çimento çamurun yararlı kullanımı için tercih edilmemiştir.

Tarım ve çimento fabrikaları için belirlenen toplam kapasitelerle karşılaştırıldığında, mevcut çamur miktarları daha azdır. Bölgedeki toplam kapasitenin (çimento fabrikası ve tarım) % 32'si kullanılmıştır. Tarımdaki kapasitenin ise % 67'si kullanılmıştır. Gelecekte arıtma tesis sayısı ve nüfustaki artışlar düşünüldüğünde, kullanılan kapasite oranının zamanla artabileceğini söylemek mümkündür. Doğu Anadolu Bölgesindeki yararlı kullanım yöntemlerinin seçim yüzdeleri Şekil 11.89'de verilmiştir.



Şekil 11.89: Doğu Anadolu Bölgesi Çamur Yararlı Kullanım Seçim Yüzdesi

Ege Bölgesi

Ege bölgesi sınırları içerisinde 5 çimento fabrikası ve 36 tane atıksu arıtma tesisi bulunmaktadır. Bölgede bir arıtma tesisi ile bir çimento fabrikası arasındaki en yakın mesafe 11,6, en uzak mesafe ise 219 km'dir. Tarım arazilerine en yakın mesafe Denizli Merkez AAT için 46,65 km ve en uzak mesafe Aydın Didim AAT için 81,95 km'dir. Stabilize çamur üreten tesisler Tablo 11.73'te gösterilmiştir. Çamurun yararlı kullanımını için optimum dağılımlar Tablo 11.74, maliyetler ise Tablo 11.75'te özetlenmiştir. En yüksek taşıma maliyeti en yüksek çamur miktarını üreten İzmir/Çiğli AAT'nindir.

Tablo 11.73: Ege Bölgesi'nde Pamuk ve Buğday Yetişen İllerde Çamur Stabilizasyonu Yapan Tesisler

İL	AAT İsmi
AYDIN	Aydın/Didim Belediyesi Eysel AAT
	Aydın/Nazilli Belediyesi Eysel AAT
DENİZLİ	Denizli Belediyesi Merkez AAT
İZMİR	İzmir/Çiğli
MANİSA	Manisa/Akhisar Belediyesi AAT
	Manisa/Alaşehir AAT
	Manisa Belediyesi AAT

Tablo 11.74: Ege Bölgesi 1. Senaryo: Çamurların yararlı kullanım noktalarına optimum dağılımları (çamur miktarları kg/saat olarak verilmiştir)

AAT İsmi	TOPLAM %90 KURULUKTA-Kİ ÇAMUR MİKTARLARI	Çimentoş İzmir Çimento	Batıçim Batı Anadolu Çimento	Batsöke Söke Çimento	Afyon Çimento	Denizli Çimento	Tarım
Afyonkarahisar/Merkez AAT	142,01				11,99	130,02	
Aydın/Atça 1. Etap AAT	2,77			2,77			
Aydın/Çine AAT	21,78			21,78			
Aydın/Didim AAT	165,42			165,42			
Aydın/Nazilli AAT	81,62						81,62
Denizli/Merkez AAT	889,49					829,14	60,35
İzmir/Aliağa AAT	86,13	86,13					
İzmir/Ayrancılar Yazıbaşı AAT	8,67			8,67			
İzmir/Bayındır AAT	30,58			30,58			
İzmir/Çiğli AAT	6288,07	1.583,57	551,12				4.153,38
İzmir/Foça AAT	40,20	21,37	18,83				
İzmir/Gümüldür AAT	9,35			9,35			
İzmir/Güneybatı AAT	156,03		156,03				
İzmir/Hacıömerli AAT	1,87	1,87					
İzmir/Halilbeyli AAT	34,84		34,84				
İzmir/Havza AAT	83,77		83,77				
İzmir/İYTE Kampüs AAT	16,15		16,15				
İzmir/Kemalpaşa AAT	39,92		39,92				
İzmir/Kozbeyli AAT	2,67		2,67				
İzmir/Menemen AAT	147,08	81,82	65,26				
İzmir/Ödemiş AAT	266,35			266,35			
İzmir/Torbalı AAT	21,44			21,44			

Tablo 11.74 (devam): Ege Bölgesi 1. Senaryo: Çamurların yararlı kullanım noktalarına optimum dağılımları (çamur miktarları kg/saat olarak verilmiştir)

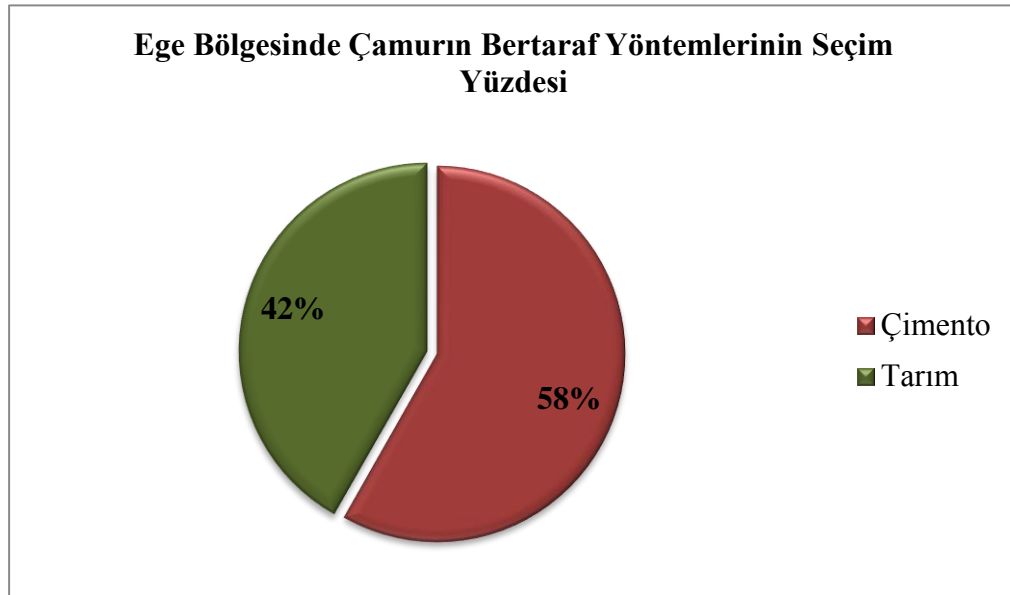
AAT İsmi	TOPLAM %90 KURULUKTA-Kİ ÇAMUR MİKTARLARI	Çimentoş İzmir Çimento	Batıçim Batı Anadolu Çimento	Batsöke Söke Çimento	Afyon Çimento	Denizli Çimento	Tarım
İzmir/Urla AAT	100,15		100,15				
izmir/ seferihisar	59,44		59,44				
Kütahya/Merkez AAT	480,49				480,49		
Manisa/Akhisar AAT	86,84						86,84
Manisa/Alaşehir AAT	174,68						174,68
Manisa/Gölmarmara AAT	2,84		2,84				
Manisa/Merkez AAT	225,28		225,28				
Muğla/Bitez AAT	28,72			28,72			
Muğla/Dalaman AAT	73,86					73,86	
Muğla/Fethiye AAT	267,33					267,33	
Muğla/Konacık AAT	11,89			11,89			
Muğla/Mariç Belbir AAT	374,78			374,78			
Muğla/TASK Güllük AAT	5,65			5,65			
Uşak/Merkez AAT	487,37					487,37	
Nakliyesi yapılan çamur miktarı (kg/saat)	10915,53	1774,76	1356,30	947,40	492,48	1787,72	4556,87
Nakliyesi yapılan çamur miktarı (ton/gün)	261,97	42,59	32,55	22,74	11,82	42,91	109,36
Nakliyesi yapılan çamur miktarı (ton/yıl)	95620,04	15546,92	11881,19	8299,22	4314,16	15660,39	39918,15
Yararlı kullanım Yöntemlerinin kapasiteleri (ton/yıl):	124.835,12	15.546,92	11.881,19	8.656,58	4.314,16	15.660,40	68.775,87
Yararlı kullanım yöntemlerinin kapasitelerinin kullanılan yüzdeleri (%)	77	100	100	96	100	100	58

Tablo 11.75: Ege Bölgesi 1. Senaryo: Çamurların yararlı kullanım noktalarına optimum şekilde dağıtılmasının maliyetleri

AAT'lerin 2012yılı maliyetleri bazında %90 kuruluktaki çamurları çimento fabrikalarına ve tarım alanlarına toplam taşıma maliyetleri	Yakıt Maliyeti (TL)	Lastik Bakım Onarım Ve Personel Gideri Maliyeti (TL)	Çimento fabrikalarına ödenecek ücret (TL)	2012 YILI İÇİN TOPLAM BERTARAF MALİYETİ (TL)
Afyonkarahisar/Merkez AAT	11.546	4.619	30.229	46.394
Aydın/Atça 1. Etap AAT	441	176	590	1.207
Aydın/Çine AAT	1.830	732	4.636	7.198
Aydın/Didim AAT	9.921	3.968	35.212	49.101
Aydın/Nazilli AAT	4.933	1.973	-	6.906
Denizli/Merkez AAT	32.471	12.989	176.497	221.957
İzmir/Aliağa AAT	4.958	1.983	18.334	25.275
İzmir/Ayrancılar Yazıbaşı AAT	771	308	1.845	2.924
İzmir/Bayındır AAT	2.632	1.053	6.509	10.194
İzmir/Çiğli AAT	351.778	140.711	454.408	946.897
İzmir/Foça AAT	2.910	1.164	8.558	12.632
İzmir/Gümüldür AAT	801	321	1.990	3.112
İzmir/Güneybatı AAT	9.318	3.727	33.214	46.259
İzmir/Hacıömerli AAT	223	89	398	710
İzmir/Halilbeyli AAT	1.503	601	7.416	9.520
İzmir/Havza AAT	3.685	1.474	17.832	22.991
İzmir/İYTE Kampüs AAT	1.237	495	3.438	5.170
İzmir/Kemalpaşa AAT	867	347	8.498	9.712
İzmir/Kozbeyli AAT	175	70	569	814
İzmir/Menemen AAT	5.196	2.079	31.309	38.584
İzmir/Ödemiş AAT	31.554	12.622	56.698	100.874
İzmir/Torbalı AAT	1.314	526	4.564	6.404
İzmir/Urla AAT	6.669	2.668	21.318	30.655
izmir/ seferihisar	4.529	1.811	12.653	18.993
Kütahya/Merkez AAT	49.888	19.955	102.281	172.124
Manisa/Akhisar AAT	5.050	2.020	-	7.070
Manisa/Alaşehir AAT	13.174	5.270	-	18.444
Manisa/Gölmarmara AAT	500	200	604	1.304
Manisa/Merkez AAT	8.063	3.225	47.955	59.243
Muğla/Bitez AAT	4.268	1.707	6.114	12.089
Muğla/Dalaman AAT	16.273	6.509	15.722	38.504
Muğla/Fethiye AAT	55.827	22.331	56.906	135.064
Muğla/Konaklık AAT	1.899	760	2.531	5.190
Muğla/Mariç Belbir AAT	74.651	29.860	79.779	184.290
Muğla/TASK Güllük AAT	875	350	1.203	2.428
Uşak/Merkez AAT	57.803	23.121	103.746	184.670

Ege bölgesindeki atıksu arıtma tesisi sayısı ve üretilen çamur miktarları fazladır. Türkiye'nin kapasite olarak en büyük tesisi İzmir/Çiğli Atıksu Arıtma Tesisi'nin bu bölgede bulunması, bölgedeki çamur miktarını etkileyen en önemli etmenlerden biridir. Tablo 11.74'te görüldüğü gibi Çiğli Atıksu Arıtma Tesisi kendisine en yakın olan Çimentaş İzmir Çimento Fabrikası'nın kapasitesini tamamen doldurmuştur. Diğer arıtma tesisleri de yine kendilerine en yakın çimento fabrikalarını seçmişlerdir. Sonuçlarda 4 çimento fabrikasının kapasitelerinin %100'ünün bir fabrikanın da %96'sının kullanılması yatırımcıları teşvik edebilecek bir durum yaratmaktadır.

Tarım ve çimento fabrikalarının toplam kapasitelerin %77'si kullanılmıştır. Ancak üretim için çimento fabrikalarının enerji ihtiyacının %3'ünün çamurdan sağlanacağı varsayımında toplam kapasitesinin üretilen çamur miktarlarından daha az olması, tarımsal alanlarda kullanımı gerekli kılmaktadır. Tarımsal kullanımın alternatif olmaktan çıkması durumunda mevcut çamurun tamamı bertaraf edilememektedir. Bu durumda bölgede yeni kapasite yaratılmasına ihtiyaç bulunmaktadır. Bunun mümkün olamadığı durumda diğer yararlı kullanım alternatifleri düşünülme durumdadır. Ege Bölgesi'nde çamurların tarımda kullanılması için belirlenen kapasitenin %58'inin dolduğu gözlenmiştir. Gelecekteki arıtma tesisi sayılarındaki ve nüfustaki olası artışlar düşünüldüğünde, kapasitenin arttırılmasına veya diğer alternatiflere (yakma tesisi, kireç fabrikaları, vd.) ihtiyaç duyulacağı söylenebilir. Ege Bölgesi çamur bertaraf yöntemlerinin seçim yüzdeleri Şekil 11.90'da verilmiştir.



Şekil 11.90: Ege Bölgesi Çamur Yararlı Kullanım Seçim Yüzdesi

Güneydoğu Anadolu Bölgesi

Bu bölgede 6 çimento fabrikası ve 9 atıksu arıtma tesisi vardır. Ancak sadece bir tesiste (Tablo 11.76) stabilize çamur üretilmektedir. Sistem kısıtları da dikkate alındığında çamur nakliyesi için en yakın ve en uzak mesafeler sırasıyla 6 km ve 98 km'dir. Optimum çamur dağılımları ve maliyetler sırasıyla Tablo 11.77ve Tablo 11.78'de verilmektedir.

Tablo 11.76: Güneydoğu Anadolu Bölgesi'nde Pamuk ve Buğday Yetiştirilen İllerde Çamur Stabilizasyonu Yapan Tesisler

İL	AAT İsmi
GAZİANTEP	Gaziantep/GASKİ 1

Güneydoğu Anadolu bölgesinde az sayıda (9 tane) atıksu arıtma tesisinin bulunması sebebiyle oluşan çamur miktarı diğer bölgelere nisbeten azdır. Çimento fabrikaları genellikle mevcut arıtma tesislerinin bulunduğu il veya komşu illerinde bulunmaktadır. Bu durum çamurun çimento fabrikalarına gönderilmeleri için avantaj sağlamaktadır. Ancak, çamurun az miktarda olması, çimento fabrikalarının gerekli altyapı değişikliğine gitmesini zorlaştırıcı bir faktördür. Bu nedenle, Limak Ergani Çimento gibi çevresinde arıtma tesisi bulunmayan bölgelerde çamur, ek yakıt olarak kullanılmaya elverişli değildir. Kapasitesinin sadece sırasıyla %1, %2 ve %4'ünü kullanan Mardin Çimento, Çimko Adıyaman ve Limak Şanlıurfa için sistem değişikliğine giderek atık çamuru ek yakıt olarak kullanmaları tavsiye edilmemektedir.

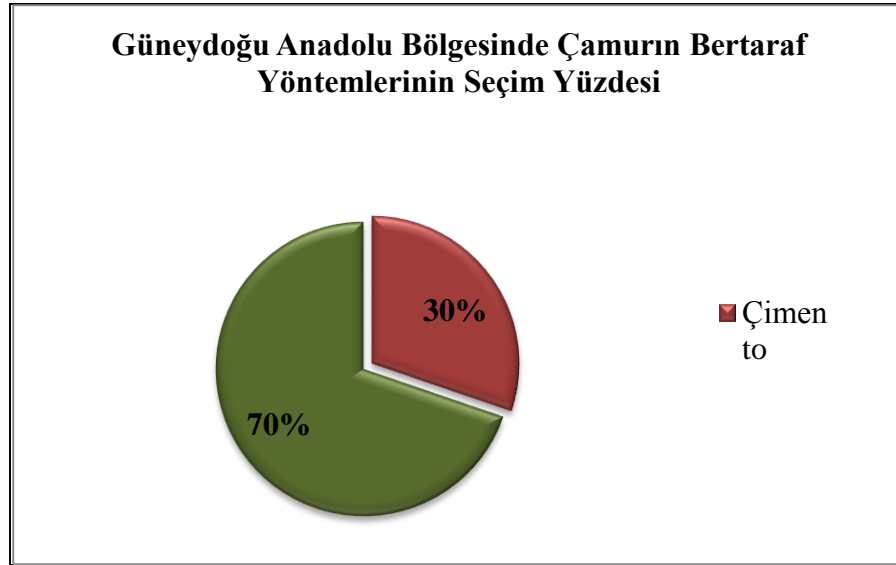
Bölgedeki toplam kapasitenin (çimento fabrikası ve tarım) %30'u dolmuştur. Tarımda kullanım seçeneği olmasa dahi bertaraf edilemeyecek çamur kalmayacaktır. Güneydoğu Anadolu Bölgesi'nde çamurların tarımda kullanılması için belirlenen kapasitenin %81'inin dolduğu gözlenmiştir. Bunun nedeni buğday ekili alanların az olmasıdır. Gelecekteki arıtma tesislerindeki ve nüfustaki artış düşünüldüğünde kullanılan kapasite oranının zamanla artabileceğini söylemek mümkündür ve bazı çimento fabrikaları için yatırımların ancak bu durumda amorti edilebileceği planlanmalıdır. Güneydoğu Anadolu Bölgesinde çamurun yararlı kullanımı için kullanılacak yöntemlerinin seçim yüzdeleri Şekil 11.91'da verilmiştir.

Tablo 11.77: Güneydoğu Anadolu Bölgesi 1. Senaryo: Çamurların yararlı kullanım noktalarına optimum dağılımları (çamur miktarları kg/saat olarak verilmiştir)

AAT İsmi	TOPLAM %90 KURULUKTA-Kİ ÇAMUR MİKTARLARI	Çimko Adıyaman Çimento Fabrikası	Limak Şanlıurfa Çimento Fabrikası	Limak Kurtalan Çimento Fabrikası	Limak Ergani Çimento Fabrikası	Limak Gaziantep Çimento Fabrikası	Mardin Çimento Fabrikası	Tarım
Adıyaman/Kahta	10,08	10,08						
GASKİ/Bilek	1,72					1,72		
GASKİ/Durantaş	1,15					1,15		
Gaziantep/GASKİ 1	2000,32					366,41		1.633,91
Gaziantep/GASKİ 2	126,07					126,07		
Siirt/Merkez	159,19			159,19				
Şanlıurfa/Akçakale	48,53		48,53					
Şanlıurfa/Ceylanpınar	26,70						26,7	
Şanlıurfa/Suruç	7,22		7,22					
Nakliyesi yapılan çamur miktarı (kg/saat)	2380,98	10,08	55,75	159,19	0,00	495,35	26,70	1633,91
Nakliyesi yapılan çamur miktarı (ton/gün)	57,14	0,24	1,34	3,82	0,00	11,89	0,64	39,21
Nakliyesi yapılan çamur miktarı (ton/yıl)	20857,35	88,3008	488,37	1394,5044	0	4339,266	233,892	14313,02
Yararlı kullanım Yöntemlerinin kapasiteleri (ton/yıl):	70.536,07	5.409,96	12.817,37	6.406,53	6.747,35	4.324,16	17.256,64	17.574,08
Yararlı kullanım yöntemlerinin kapasitelerinin kullanılan yüzdeleri (%)	30	2	4	22	0	100	1	81

Tablo 11.78: Güneydoğu Anadolu Bölgesi 1. Senaryo: Çamurların yararlı kullanım noktalarına optimum şekilde dağıtılmasının maliyetleri

AAT'lerin 2012yılı maliyetleri bazında %90 kuruluftaki çamurları çimento fabrikalarına ve tarım alanlarına toplam taşıma maliyetleri	Yakıt Maliyeti (TL)	Lastik Bakım Onarım Ve Personel Gideri Maliyeti (TL)	Çimento fabrikalarına ödenecek ücret (TL)	2012 YILI İÇİN TOPLAM BERTARAF MALİYETİ (TL)
Adıyaman/Kahta	640	256	2.146	3.042
GASKİ/Bilek	41	17	366	424
GASKİ/Durantaş	89	36	245	370
Gaziantep/GASKİ 1	67.437	26.975	77.997	172.409
Gaziantep/GASKİ 2	2.328	931	26.836	30.095
Siirt/Merkez	4.449	1.780	33.886	40.115
Şanlıurfa/Akçakale	3.586	1.435	10.331	15.352
Şanlıurfa/Ceylanpınar	2.697	1.079	5.684	9.460
Şanlıurfa/Suruç	526	210	1.537	2.273



Şekil 11.91: Güneydoğu Bölgesi Çamur Yararlı Kullanım Seçim Yüzdesi

İç Anadolu Bölgesi

Türkiye Çimento Müstahsilleri Birliği'ne üye olan ve İç Anadolu Bölgesi sınırları içerisinde bulunan 9 çimento fabrikasının yerleri ve yine bölge sınırları içerisinde bulunana 31 atıksu arıtma tesisinin yerleri belirlenerek aralarındaki mesafeler hesaplanmıştır. Bölgede çimento fabrikalarına en kısa taşıma 1 km en uzağı ise 160 km'dir. Tarım arazilerine en yakın mesafe Niğde Merkez

AAT için 33,45 km ve en uzak mesafe Konya Ereğli AAT için 139,4 km'dir. Tablo 11.79 stabilize çamur üreten tesisleri özetlemektedir. Kullanılan varsayımlar ve sistem kısıtları bazında optimum dağılımlar ve maliyetler sırasıyla Tablo 11.80 ve Tablo 11.81'de gösterilmiştir.

Tablo 11.79: İç Anadolu Bölgesi'nde Pamuk ve Buğday Yetiştirilen İllerde Çamur Stabilizasyonu Yapan Tesisler

İL	AAT İsmi
ANKARA	Ankara/ASKİ Büyükşehir Belediyesi AAT
ESKİŞEHİR	Eskişehir/ESKİ Büyükşehir Belediyesi AAT
KAYSERİ	Kayseri/KASKİ Büyükşehir Belediyesi AAT Kayseri/Develi Belediyesi AAT
KONYA	Konya/Beyşehir Belediyesi AAT Konya/KOSKİ Büyükşehir Belediyesi AAT
NEVŞEHİR	Nevşehir/Ürgüp Belediyesi AAT
NİĞDE	Niğde AAT
SİVAS	Sivas Belediyesi AAT
YOZGAT	Yozgat Belediyesi AAT

İç Anadolu Bölgesi hem tarım alanı olarak yüksek kapasiteye sahip olması hem de çimento fabrikalarının varlığıyla her iki yararlı kullanım yöntemi için olanak sağlamaktadır. En yüksek taşıma maliyeti Ankara/ASKİ AAT'de görülmektedir (Tablo 11.81). Tarım ve çimento fabrikalarının toplam kapasitelere göre üretilen toplam %90 kuru çamur miktarı daha azdır. Bölgedeki toplam kapasitenin (çimento fabrikası ve tarım) %56'sı kullanılmıştır. Çimento fabrikalarında üretim için gerekli enerjinin %3'ünün çamurdan sağlanması durumunda üretilen çamur miktarının kapasiteden daha az olması, tarımda kullanım seçeneğinin olmaması durumunda bile arıtma tesislerinin çamurlarının kullanılabilceğini göstermektedir. Optimum dağılımda toplam 5 çimento fabrikasının kapasitelerinin %100'ü kullanılmaktadır. İç Anadolu Bölgesi'nde çamurların tarımda kullanılması için belirlenen kapasitenin %54'ünün dolduğu gözlenmiştir. Gelecekteki arıtma tesislerindeki ve nüfustaki artış düşünüldüğünde kullanılan kapasite oranının zamanla artabileceğini söylemek mümkündür ve yatırımların bu durumun göz önünde bulundurulması fayda vardır. İç Anadolu Bölgesi için seçilen yararlı kullanım yüzdeleri Şekil 11.92'de verilmiştir.

Tablo 11.80: İç Anadolu Bölgesi 1. Senaryo: Çamurların yararlı kullanım noktalarına optimum dağılımları (çamur miktarları kg/saat olarak verilmiştir)

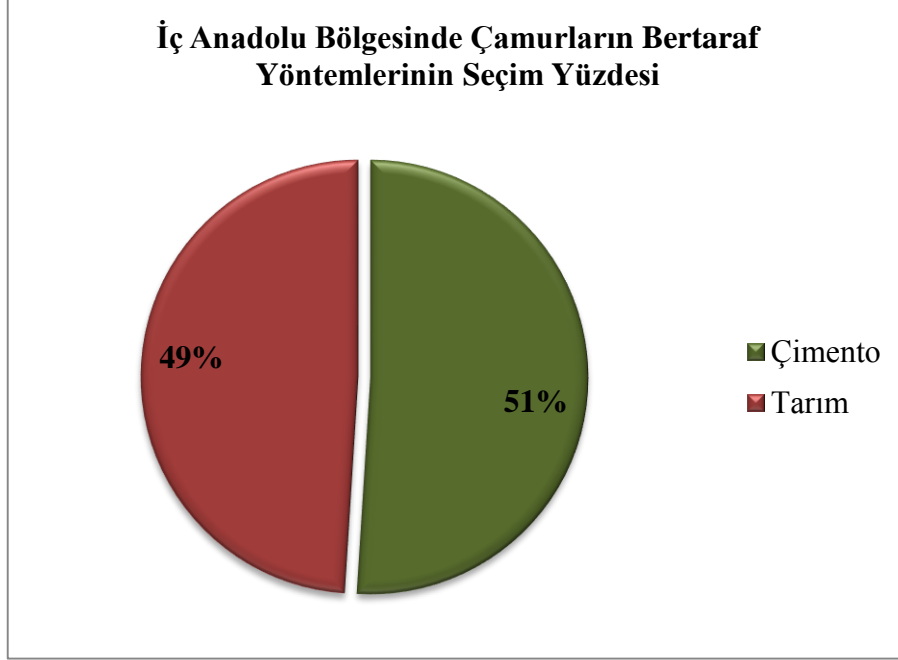
AAT İsmi	TOPLAM %90 KURULUKTA-Kİ ÇAMUR MİKTARLARI	Baştaş Çimento Fabrikası	Cimpor Hasanoğlu Fabrikası	Limak Batı Ankara Çimento Fabrikası	Cimpor Sivas Çimento Fabrikası	Cimpor Yozgat Fabrikası	Çimsa Eskişehir Çimento Fabrikası	Çimsa Kayseri Çimento Fabrikası	Çimsa Niğde Çimento Fabrikası	Konya Çimento Fabrikası	Tarım
Ankara/ASKİ Merkez AAT	3761,09			889,87							2.871,23
Ankara/Çayırhan AAT	20,24			20,24							
Ankara/Evren AAT	13,24					13,24					
Çankırı/Şabanözü AAT	7,88		7,88								
Çankırı/Yapraklı AAT	3,20	3,20									
Eskişehir/ESKİ MerkezAAT	939,50						939,50				
Karaman/Merkez AAT	5,31									5,31	
Kayseri/Develi AAT	26,28										26,28
Kayseri/KASKİ MerkezAAT	2518,53							782,52			1.736,01
Kırşehir/Merkez AAT	298,38	298,38									
Konya/Akören AAT	4,25									4,25	
Konya/Beyşehir AAT	55,05										55,05
Konya/Ereğli AAT	126,22								126,22		
Konya/Güneysınır AAT	0,77									0,77	
Konya/Ilgın AAT	17,49									17,49	
Konya/Kadınhanı AAT	2,59									2,59	
Konya/KOSKİ Başarakavak AAT	3,47									3,47	
Konya/KOSKİ MerkezAAT	1571,72									1.367,18	204,54
Konya/Kulu AAT	68,65		68,65								
Konya/Tepekent AAT	1,33									1,33	
Konya/Yukarıçiğil AAT	1,19									1,19	

Tablo 11.80 (devam): İç Anadolu Bölgesi 1. Senaryo: Çamurların yararlı kullanım noktalarına optimum dağılımları (çamur miktarları kg/saat olarak verilmiştir)

AAT İsmi	TOPLAM %90 KURULUKTA-Kİ ÇAMUR MİKTARLARI	Baştaş Çimento Fabrikası	Cimpor Hasanoğlan Fabrikası	Limak Batı Ankara Çimento Fabrikası	Cimpor Sivas Çimento Fabrikası	Cimpor Yozgat Fabrikası	Çimsa Eskişehir Çimento Fabrikası	Çimsa Kayseri Çimento Fabrikası	Çimsa Niğde Çimento Fabrikası	Konya Çimento Fabrikası	Tarım
Konya/Zincirlikuyu AAT	1,24		1,24								
Nevşehir/Avanos AAT	12,75							12,75			
Nevşehir/Derinkuyu Kaymaklı AAT	10,74								10,74		
Nevşehir/Merkez AAT	222,33							22,23	200,10		
Nevşehir/Ürgüp AAT	12,75							0,02			12,73
Niğde/Bor AAT	63,32								63,32		
Niğde/Çukurkuyu AAT	8,56								8,56		
Niğde/Merkez AAT	101,10										101,10
Sivas/Merkez AAT	591,42					454,73					136,69
Yozgat/Merkez AAT	26,58						26,58				
Nakliyesi yapılan çamur miktarı (kg/saat)	10497,20	301,58	77,77	910,11	454,73	39,82	939,50	817,52	408,96	1403,58	5143,62
Nakliyesi yapılan çamur miktarı (ton/gün)	251,93	7,24	1,87	21,84	10,91	0,96	22,55	19,62	9,82	33,69	123,45
Nakliyesi yapılan çamur miktarı (ton/yıl)	91.955,50	2.641,87	681,27	7.972,57	3.983,44	348,83	8.230,04	7.161,50	3.582,48	12.295,3 5	45.058,1 5
Yararlı kullanım	163.410,91	17.857,19	7.784,64	7.972,57	3.983,44	7.050,03	11.820,8 0	7.161,50	3.582,48	12.295,3 5	83.902,9 2
Yöntemlerinin kapasiteleri (ton/yıl)											
Yararlı kullanım	56	15	9	100	100	5	70	100	100	100	54
yöntemlerinin kapasitelerinin kullanılan yüzdeleri (%)											

Tablo 11.81: İç Anadolu Bölgesi 1. Senaryo: Çamurların yararlı kullanım noktalarına optimum şekilde dağıtılmasının maliyetleri

AAT'lerin 2012yılı maliyetleri bazında %90 kuruluktaki çamurları çimento fabrikalarına ve tarım alanlarına toplam taşıma maliyetleri	Yakıt Maliyeti (TL)	Lastik Bakım Onarım Ve Personel Gideri Maliyeti (TL)	Çimento fabrikalarına ödenecek ücret (TL)	2012 YILI İÇİN TOPLAM BERTARAF MALİYETİ (TL)
Ankara/ASKİ Merkez AAT	283.878	113.551	189.425	586.854
Ankara/Çayırhan AAT	2.620	1.048	4.308	7.976
Ankara/Evren AAT	2.202	881	2.818	5.901
Çankırı/Şabanözü AAT	859	343	1.677	2.879
Çankırı/Yapraklı AAT	815	326	681	1.822
Eskişehir/ESKİ MerkezAAT	30.678	12.271	199.990	242.939
Karaman/Merkez AAT	705	282	1.131	2.118
Kayseri/Develi AAT	2.017	807	-	2.824
Kayseri/KASKİ MerkezAAT	169.339	67.736	166.574	403.649
Kırşehir/Merkez AAT	11.579	4.632	63.516	79.727
Konya/Akören AAT	378	151	904	1.433
Konya/Beyşehir AAT	6.614	2.646	-	9.260
Konya/Ereğli AAT	12.171	4.869	26.869	43.909
Konya/Güneysınır AAT	238	95	164	497
Konya/İlgın AAT	1.607	643	3.724	5.974
Konya/Kadınhanı AAT	152	61	552	765
Konya/KOSKİ Başarakavak AAT	231	92	738	1.061
Konya/KOSKİ MerkezAAT	31.393	12.557	291.028	334.978
Konya/Kulu AAT	9.946	3.978	14.614	28.538
Konya/Tepekent AAT	37	15	284	336
Konya/Yukarıçiğil AAT	219	88	254	561
Konya/Zincirlikuyu AAT	449	179	265	893
Nevşehir/Avanos AAT	1.376	550	2.715	4.641
Nevşehir/Derinkuyu Kaymaklı AAT	580	232	2.287	3.099
Nevşehir/Merkez AAT	20.894	8.358	47.327	76.579
Nevşehir/Ürgüp AAT	892	357	4	1.253
Niğde/Bor AAT	1.361	544	13.480	15.385
Niğde/Çukurkuyu AAT	474	190	1.823	2.487
Niğde/Merkez AAT	3.406	1.362	-	4.768
Sivas/Merkez AAT	11.479	4.591	96.797	112.867
Yozgat/Merkez AAT	443	177	5.659	6.279



Şekil 11.92: İç Anadolu Bölgesi Çamur Yararlı Kullanım Seçim Yüzdesi

Karadeniz Bölgesi

Türkiye Çimento Müstahsilleri Birliği'ne üye olan ve Karadeniz Bölgesi sınırları içerisinde bulunan 7 çimento fabrikası vardır. Atıksu arıtma tesisi sayısı ise 15'dir. En yakın mesafe 11 km, en uzak mesafe ise 169 km'dir. Karadenizde pamuk ve buğday üretimi olmadığı için atık çamurların tarım amaçlı kullanımı mümkün olmamıştır. Optimizasyon sonucuna bağlı olarak taşınacak çamur miktarlarının çimento fabrikalarına dağılımı ve maliyetler sırasıyla Tablo 11.82 ve Tablo 11.83'de verilmiştir

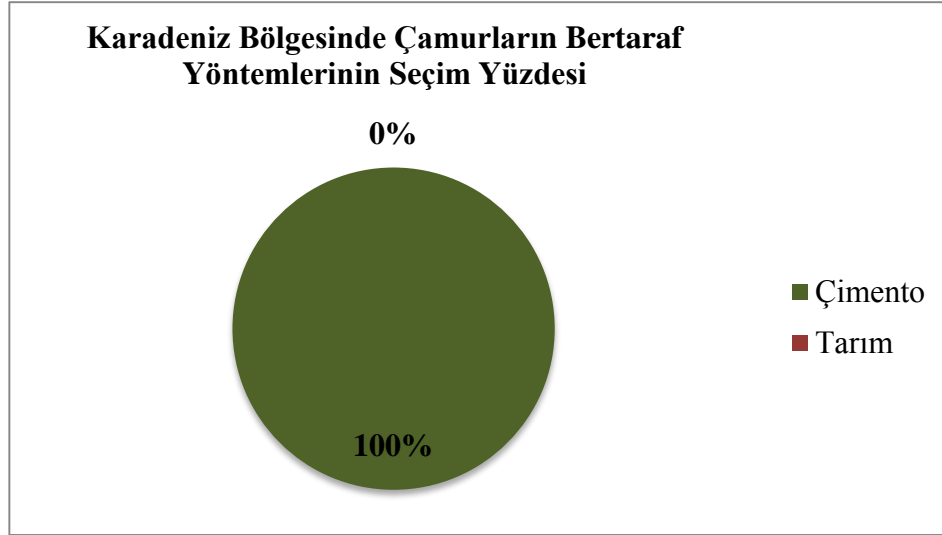
Karadeniz Bölgesinde çimento fabrikaları bulunmasına rağmen, bölgede yüksek kapasiteli çamur üretimleri olmadığı için Bolu Çimento haricinde çimento fabrikalarının kapasitelerinin büyük bir kısmı karşılanamamaktadır. Buğday ekili tarım arazisi olmadığı için, çimento fabrikaları tek alternatiftir. Ancak bu durumda dahi çamur üretiminin az olmasına bağlı olarak kapasiteler tam olarak kullanılamamaktadır. Bölgedeki toplam kapasitenin (çimento fabrikası) %16'sı kullanılmıştır. Karadeniz Bölgesi çamur yararlı kullanım yüzdeleri Şekil 11.93'de verilmiştir.

Tablo 11.82: Karadeniz Bölgesi 1. Senaryo: Çamurların Yararlı Kullanım Noktalarına Optimum Dağılımları (Çamur Miktarları kg/saat Olarak Verilmiştir)

AAT İsmi	TOPLAM %90 KURULUKTA-Kİ ÇAMUR MİKTARLARI	Bolu Çimento Fabrikası	Bartın Çimento Fabrikası	Aşkale Trabzon Çimento Fabrikası	Cimpor Çorum Çimento Fabrikası	Akçansa Samsun Çimento Fabrikası	Adoçim Tokat Çimento Fabrikası	Ünye Çimento Fabrikası
Amasya/Merzifon AAT	0,08					0,08		
Artvin/Hopa AAT	0,03			0,03				
Bolu/Gerede AAT	9,95		9,95					
Bolu/Merkez AAT	91,01	91,01						
Çorum/Merkez AAT	205,46				205,46			
Düzce/Akçakoca AAT	57,40		57,4					
Düzce/Merkez AAT + Düzce/Ak Evler AAT	241,01	116,69	124,32					
Karabük/Merkez AAT	63,33		63,33					
Ordu/Akçaova AAT	1,65							1,65
Samsun/Alaçam AAT	39,62					39,62		
Samsun/Bafra AAT	104,21					104,21		
Samsun/Ondokuzmayıs AAT	2,54					2,54		
Tokat/Erbaa AAT	83,78					83,78		
Tokat/Merkez AAT	6,55						6,55	
Zonguldak/Devrek AAT	26,16		26,16					
Nakliye edilen çamur miktarı (kg/saat)	932,78	207,70	281,16	0,03	205,46	230,23	6,55	1,65
Nakliye edilen çamur miktarı (ton/gün)	22,39	4,98	6,75	0,00	4,93	5,53	0,16	0,04
Nakliye edilen çamur miktarı (ton/yıl)	8.171,15	1.819,45	2.462,96	0,26	1.799,83	2.016,81	57,38	14,45
Yararlı kullanım Yöntemlerinin kapasiteleri (ton/yıl):	51.347,81	2.021,62	12.942,48	5.552,32	3.416,81	13.431,70	10.492,04	3.490,85
Yararlı kullanım yöntemlerinin kapasitelerinin kullanılan yüzdeleri (%)	16	90	19	0	53	15	1	0

Tablo 11.83: Karadeniz Bölgesi 1. Seanryo: Çamurların yararlı kullanım noktalarına optimum şekilde dağıtılmasının maliyetleri

AAT'lerin 2012yılı maliyetleri bazında %90 kuruluktaki çamurları çimento fabrikalarına ve tarım alanlarına toplam taşıma maliyetleri	Yakıt Maliyeti (TL)	Lastik Bakım Onarım Ve Personel Gideri Maliyeti (TL)	Çimento fabrikalarına ödenecek ücret (TL)	2012 YILI İÇİN TOPLAM BERTARAF MALİYETİ (TL)
Amasya/Merzifon AAT	141	56	17	214
Artvin/Hopa AAT	465	186	6	657
Bolu/Gerede AAT	1.695	678	2.118	4.491
Bolu/Merkez AAT	1.029	412	19.373	20.814
Çorum/Merkez AAT	2.993	1.197	43.736	47.926
Düzce/Akçakoca AAT	10.287	4.115	12.219	26.621
Düzce/Merkez AAT + Düzce/Ak Evler AAT	40.837	16.335	51.303	108.475
Karabük/Merkez AAT	6.737	2.695	13.481	22.913
Ordu/Akçaova AAT	149	60	352	561
Samsun/Alaçam AAT	5.820	2.328	8.434	16.582
Samsun/Bafra AAT	12.557	5.023	22.183	39.763
Samsun/Ondokuzmayıs AAT	208	83	541	832
Tokat/Erbaa AAT	6.688	2.675	17.834	27.197
Tokat/Merkez AAT	388	155	1.394	1.937
Zonguldak/Devrek AAT	2.092	837	5.569	8.498



Şekil 11.93: Karadeniz Bölgesi Çamur Yararlı Kullanım Seçim Yüzdesi

Marmara Bölgesi

Türkiye Çimento Müstahsilleri Birliği'ne üye olan ve Marmara Bölgesi sınırları içerisinde bulunan 10 çimento fabrikasının yerleri ve yine Marmara Bölgesi sınırları içerisinde bulunana 53 atıksu arıtma tesislerinin yerleri belirlenerek mesafeler hesaplanmıştır. Bölgede arıtma tesisleri ve çimento fabrikaları arasındaki en yakın mesafe 7,7 km en uzak mesafe ise 238 km'dir. Tarım arazilerine en yakın mesafe Yalova/TASK-KAB Altınova AAT için 17,65 km ve en uzak mesafe Balıkesir/Altınoluk Belediyesi AAT için 104,85 km'dir. Tablo 11.85 ve Tablo 11.86 sırasıyla optimum çamur dağılımlarını ve maliyetleri göstermektedir.

Tablo 11.84: Marmara Bölgesi'nde Pamuk ve Buğday Yetiştirilen İllerde Çamur Stabilizasyonu Yapan Tesisler

İL	AAT İsmi
BALIKESİR	Balıkesir Belediyesi Merkez AAT
BURSA	Bursa/Yeşil Çevre A.Ş. Bursa/İnegöl Yenice Bursa/İnegöl Organize Bursa/BUSKİ Doğu Bursa/BUSKİ Batı
İSTANBUL	İstanbul/Paşaköy İstanbul İSKİ Tuzla AAT Ve DDD İstanbul İSKİ Ataköy AAT
SAKARYA	Sakarya/Akyazı Sakarya/Hendek

Tablo 11.85: Marmara Bölgesi 1. Senaryo: Çamurların yararlı kullanım noktalarına optimum dağılımları (çamur miktarları kg/saat olarak verilmiştir)

AAT İsmi	TOPLAM %90 KURULUKTA-Kİ ÇAMUR MİKTARLARI	Akçansa Büyük-çekmece Çimento	Akçansa Çanakkale Çimento	Bursa Çimento	Edirne Çimentera Çimento	Aslan Çimento	Nuh Çimento	Bilecik / SANCIM Çimento	TRACIM Çimento	Limak ve Batı Pınarhisar Çimento	Limak Batı Balıkesir Çimento	Tarım
Balıkesir/Altınoluk AAT	208,33		208,33									
Balıkesir/Burhaniye AAT	55,39										55,39	
Balıkesir/Edremit AAT	145,94										145,94	
Balıkesir/Gömeç AAT	2,49										2,49	
Balıkesir/Karaağaç AAT	2,37										2,37	
Balıkesir/Merkez AAT	171,20										171,20	
Balıkesir/Ocaklar AAT	0,09										0,09	
Bursa/BUSKİ Batı	905,70											905,70
Bursa/BUSKİ Çalı	6,36										6,36	
Bursa/BUSKİ Doğu	1442,84											1.442,84
Bursa/BUSKİ Hasanağa	11,72										11,72	
Bursa/BUSKİ Kayapa	1,01										1,01	
Bursa/İnegöl Organize	606,77											606,77
Bursa/İnegöl Yenice	13,08											13,08
Bursa/Karacabey	35,64										35,64	
Bursa/Yeşil Çevre A.Ş.	774,77			32,41								742,36
Çanakkale/Ayvacık AAT	3,10		3,10									
Çanakkale/Eceabat AAT	6,42				6,42							
Çanakkale/Geyikli AAT	8,59		8,59									
Çanakkale/Kepez AAT	5,96		5,96									
Çanakkale/Mahmudiye AAT	8,18		8,18									
Çanakkale/Umurbey AAT	1,65		1,65									
Edirne/Yenikarpuzlu	1,91				1,91							

Tablo 11.85 (devam): Marmara Bölgesi 1. Senaryo: Çamurların yararlı kullanım noktalarına optimum dağılımları (çamur miktarları kg/saat olarak verilmiştir)

AAT İsmi	TOPLAM %90 KURULUKTA-Kİ ÇAMUR MİKTARLARI	Akçansa Büyükçekmece Çimento	Akçansa Çanakkale Çimento	Bursa Çimento	Edirne Çimentera Çimento	Aslan Çimento	Nuh Çimento	Bilecik / SANCIM Çimento	TRACIM Çimento	Limak ve Batı Pınarhisar Çimento	Limak Batı Balıkesir Çimento	Tarım
İstanbul/Ağva	4,34			4,34	0,00							
İstanbul/Bahçeşehir	32,32				32,32							
İstanbul/Gümüşyaka	6,93								6,93			
İstanbul/İSKİ Ataköy AAT	2311,48	423,54			1.887,94							
İstanbul/İSKİ Çantaköy AAT	36,03								36,03			
İstanbul/İSKİ Kömürlük AAT	0,22				0,22							
İstanbul/İSKİ Sahilköy AAT	0,13				0,06					0,07		
İstanbul/İSKİ Tuzla AAT	3095,23				70,78	304,43	983,39		118,40	1.618,23		
İstanbul/İSKİ Yeniköy AAT	0,25				0,00					0,25		
İstanbul/Öğümce Paket Arıtma	1,04				1,04							
İstanbul/Ömerli	9,51				9,51							
İstanbul/Paşaköy	1368,54				812,84				555,70			
İstanbul/Terkos	4,97									4,97		
Kocaeli /İSU Körfez AAT	435,07						435,07					
Kocaeli/Dilovası Bel. ve OSB AAT	109,26						109,26					
Kocaeli/İSU 42 Evler AAT	520,89			520,89								
Kocaeli/İSU Bağrganlı AAT	2,74			2,74								
Kocaeli/İSU Gebze AAT	670,69					670,69						
Kocaeli/İSU Gölcük Yeniköy AAT	336,79			336,79								
Kocaeli/İSU Karamürsel AAT	67,23			67,23								
Kocaeli/İSU Kullar AAT	421,90			125,22			118,04	178,64				
Kocaeli/İSU Plajyolu AAT	538,15			270,12			268,03					

Tablo 11.85 (devam): Marmara Bölgesi 1. Senaryo: Çamurların yararlı kullanım noktalarına optimum dağılımları (çamur miktarları kg/saat olarak verilmiştir)

AAT İsmi	TOPLAM %90 KURULUKTA-Kİ ÇAMUR MİKTARLARI	Akçansa Büyükçekmece Çimento	Akçansa Çanakkale Çimento	Bursa Çimento	Edirne Çimenter Çimento	Aslan Çimento	Nuh Çimento	Bilecik / SANCIM Çimento	TRACIM Çimento	Limak ve Batı Pınarhisar Çimento	Limak Batı Balıkesir Çimento	Tarım
Sakarya/Akyazı	94,10							94,10				
Sakarya/Hendek	121,50							121,50				
Sakarya/Karaman	837,66							837,66				
Tekirdağ/Barbaros	1,68									1,68		
Tekirdağ/Marmaraeğlisi	29,15				29,15							
Tekirdağ/Yeniçiftlik	8,13				8,13							
Yalova/Armutlu AAT	7,96			7,96								
Yalova/TASK-KAB Altınova AAT	11,25			11,25								
Nakliye edilen çamur miktarı (kg/saat)	15.504,65	423,54	235,81	1.378,96	2.860,33	975,12	1.913,79	1.231,90	717,06	1.625,20	432,21	3.710,75
Nakliye edilen çamur miktarı (ton/gün)	372,11	10,16	5,66	33,09	68,65	23,40	45,93	29,57	17,21	39,00	10,37	89,06
Nakliye edilen çamur miktarı (ton/yıl)	135.820,73	3.710,18	2.065,70	12.079,65	25.056,48	8.542,04	16.764,82	10.791,44	6.281,42	14.236,72	3.786,16	32.506,14
Yararlı kullanım yöntemlerinin kapasiteleri (ton/yıl):	184.820,28	3.710,18	9.491,15	12.079,65	34.513,27	8.542,04	16.764,82	10.791,44	6.281,42	14.236,73	34.428,78	33.980,81
Yararlı kullanım yöntemlerinin kapasitelerinin kullanılan yüzdeleri (%)	73	100	22	100	73	100	100	100	100	100	11	96

Tablo 11.86: Marmara Bölgesi 1. Senaryo: Çamurların yararlı kullanım noktalarına optimum şekilde dağıtılmasının maliyetleri

AAT'lerin 2012yılı maliyetleri bazında %90 kuruluştaki çamurları çimento fabrikalarına ve tarım alanlarına toplam taşıma maliyetleri	Yakıt Maliyeti (TL)	Lastik Bakım Onarım Ve Personel Gideri Maliyeti (TL)	Çimento fabrikalarına ödenecek ücret (TL)	2012 YILI İÇİN TOPLAM BERTARAF MALİYETİ (TL)
Balıkesir/Altınoluk AAT	17.588	7.035	44.347	68.970
Balıkesir/Burhaniye AAT	5.953	2.381	11.790	20.124
Balıkesir/Edremit AAT	14.861	5.944	31.066	51.871
Balıkesir/Gömeç AAT	325	130	530	985
Balıkesir/Karaağaç AAT	308	123	505	936
Balıkesir/Merkez AAT	2.375	950	36.443	39.768
Balıkesir/Ocaklar AAT	366	146	19	531
Bursa/BUSKİ Batı	43.177	17.271	-	60.448
Bursa/BUSKİ Çalı	1.263	505	1.354	3.122
Bursa/BUSKİ Doğu	64.466	25.786	-	90.252
Bursa/BUSKİ Hasanağa	2.257	903	2.495	5.655
Bursa/BUSKİ Kayapa	421	168	215	804
Bursa/İnegöl Organize	33.327	13.331	-	46.658
Bursa/İnegöl Yenice	734	294	-	1.028
Bursa/Karacabey	3.968	1.587	7.586	13.141
Bursa/Yeşil Çevre A.Ş.	34.338	13.735	6.900	54.973
Çanakkale/Ayvacık AAT	249	100	660	1.009
Çanakkale/Eceabat AAT	1.965	786	1.366	4.117
Çanakkale/Geyikli AAT	154	62	1.828	2.044
Çanakkale/Kepez AAT	355	142	1.268	1.765
Çanakkale/Mahmudiye AAT	66	26	1.742	1.834
Çanakkale/Umurbey AAT	193	77	352	622
Edirne/Yenikarpuzlu	443	177	407	1.027
İstanbul/Ağva	2.141	856	924	3.921
İstanbul/Bahçeşehir	7.463	2.985	6.880	17.328
İstanbul/Gümüşyaka	660	264	1.475	2.399
İstanbul/İSKİ Ataköy AAT	480.774	192.310	492.040	1.165.124
İstanbul/İSKİ Çantaköy AAT	3.082	1.233	7.670	11.985
İstanbul/İSKİ Kömürlük AAT	834	334	47	1.215
İstanbul/İSKİ Sahilköy AAT	1.571	629	28	2.228
İstanbul/İSKİ Tuzla AAT	467.456	186.983	658.875	1.313.314

Tablo 11.86 (devam): Marmara Bölgesi 1. Senaryo: Çamurların yararlı kullanım noktalarına optimum şekilde dağıtılmasının maliyetleri

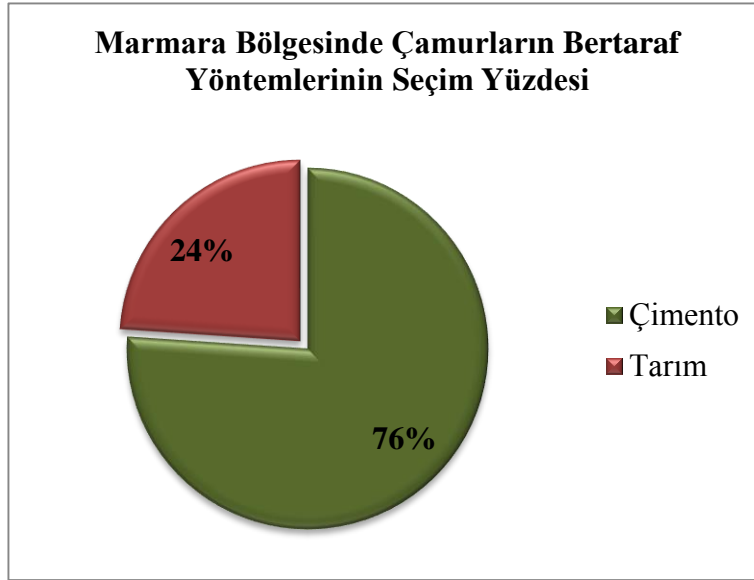
AAT'lerin 2012yılı maliyetleri bazında %90 kuruluktaki çamurları çimento fabrikalarına ve tarım alanlarına toplam taşıma maliyetleri	Yakıt Maliyeti (TL)	Lastik Bakım Onarım Ve Personel Gideri Maliyeti (TL)	Çimento fabrikalarına ödenecek ücret (TL)	2012 YILI İÇİN TOPLAM BERTARAF MALİYETİ (TL)
İstanbul/İSKİ Yeniköy AAT	1.087	435	53	1.575
İstanbul/Öğümce Paket Arıtma	771	308	221	1.300
İstanbul/Ömerli	3.192	1.277	2.024	6.493
İstanbul/Paşaköy	341.022	136.409	291.318	768.749
İstanbul/Terkos	738	295	1.058	2.091
Kocaeli /İSU Körfez AAT	8.314	3.326	92.612	104.252
Kocaeli/Dilovası Bel. ve OSB AAT	848	339	23.258	24.445
Kocaeli/İSU 42 Evler AAT	77.268	30.907	110.881	219.056
Kocaeli/İSU Bağıranlı AAT	1.117	447	583	2.147
Kocaeli/İSU Gebze AAT	7.147	2.859	142.768	152.774
Kocaeli/İSU Gölcük Yeniköy AAT	45.697	18.279	71.691	135.667
Kocaeli/İSU Karamürsel AAT	7.362	2.945	14.311	24.618
Kocaeli/İSU Kullar AAT	48.083	19.233	89.809	157.125
Kocaeli/İSU Plajyolu AAT	49.784	19.913	114.555	184.252
Sakarya/Akyazı	11.269	4.508	20.030	35.807
Sakarya/Hendek	15.480	6.192	25.863	47.535
Sakarya/Karaman	95.159	38.063	178.311	311.533
Tekirdağ/Barbaros	273	109	357	739
Tekirdağ/Marmaraeğlisi	5.510	2.204	6.205	13.919
Tekirdağ/Yeniçiftlik	1.428	571	1.731	3.730
Yalova/Armutlu AAT	741	296	1.695	2.732
Yalova/TASK-KAB Altınova AAT	1.459	583	2.395	4.437

Marmara Bölgesi, sanayinin merkezi olan bir bölge olduğu için hem atıksu arıtma tesisi sayısı hem de çimento fabrikası sayısı bakımından en zengin bölgemizdir. Tarım alanı bakımından da oldukça önemli bir bölge olmasına rağmen kayda değer buğday üretim alanının olmayışı ve sadece Bursa ve Balıkesir'de pamuk yetiştiriciliğinin oluşu, Marmara bölgesinde tarımda yararlı kullanımı kısıtlamaktadır.

Akçansa Büyükçekmece, Aslan Çimento ve Nuh Çimento şehir merkezlerine en yakın çimento fabrikalarıdır. Bu sebepten, arıtma tesislerinin ilk tercih edeceği çimento fabrikalarının bunlar

olacağı düşünülmektedir. Bu fabrikalar aynı zamanda, halihazırda çamur bertarafının da yapıldığı fabrikalardır. Trakya bölgesinde 3 büyük çimento fabrikasının oluşu, çamur dağılımını etkilemiştir. Limak Batı Balıkesir ve Akçansa Çanakkale fabrikalarında kapasitenin yarısından daha az bir miktarda çamur gönderildiği görülmüştür.

Tarım ve çimento fabrikaları için belirlenen toplam kapasitelere göre toplam çamur miktarları daha azdır. Bölgedeki toplam kapasitenin (çimento fabrikası ve tarım) %73'ü dolmuştur. Tarımda kullanım seçeneği olmasa dahi, bertaraf edilemeyecek çamur kalmamaktadır. Marmara Bölgesi'nde çamurların tarımda kullanılması için belirlenen kapasitein %96'sının dolduğu gözlenmiştir. Gelecekteki arıtma tesislerindeki ve nüfustaki artış düşünüldüğünde kullanılan kapasite oranının zamanla artabileceğini söylemek mümkündür ve yatırımların bu durumun göz önünde bulundurulduğu koşullarda yapılması gerekmektedir. Marmara Bölgesindeki çamurun yararlı kullanım yöntemlerinin seçim yüzdeleri Şekil 11.94'te verilmiştir.



Şekil 11.94: Marmara Bölgesi Çamur Yararlı Kullanım Seçim Yüzdesi

11.1.7.5. Senaryo 2 için Optimizasyon Sonuçları

Bu senaryoda, çimento fabrikalarının klinler üretim kapasiteleri göz önünde bulundurularak klinker üretimi için gerekli enerjinin %10'nun çamurun yakılmasından elde edileceği varsayılarak 7 coğrafi bölge için ayrı ayrı taşıma maliyetleri optimizasyonu yapılmıştır. Sonuçlar coğrafi bölgeler bazında aşağıda özetlenmiştir. Genel olarak çamurlar, taşıma maliyetlerinin daha düşük olmasını sağlayacak şekilde görece AAT'lere daha yakın olan çimento fabrikalarına gönderilmiştir.

Akdeniz Bölgesi

Optimum dağılımlar ve maliyetler sırasıyla Tablo 11.87 ve Tablo 11.88’de verilmiştir. Maliyet tablosuna bakıldığında en büyük maliyetin çamurun çimento fabrikalarına satıştan kaynaklanan giderden dolayı oluştuğu görülmektedir. Akdeniz bölgesinde en yüksek maliyete sahip olan tesis, ürettiği çamur miktarından dolayı Antalya/Hurma ileri Biyolojik AAT’dır. En çok yakıt giderine sahip olan ise çimento fabrikasına olan uzaklığı (201 km) nedeniyle Antalya/Alanya tesisidir. Antalya/ Gazipaşa tesisi en yakın çimento fabrikasına 245 km mesafede olmasına rağmen çamur üretimi diğer tesislere nazaran daha düşük olduğundan maliyetler görece düşük kalmıştır.

Çimento fabrikalarının klinker üretimi için ihtiyaç duyduğu enerjinin % 10’unu çamurdan elde edebileceği durumda, mevcut kapasitenin sadece %18’i doldurulabilmektedir. Çimento fabrikalarının çamuru ek yakıt olarak kullanabilmeleri için sistemlerinde değişikliğe gitmeleri söz konusu olduğu için, az miktarda çamur gönderilen çimento fabrikalarının böyle bir yatırıma gitmeleri ekonomik olmayabilir. Akdeniz Bölgesi için Çimko Narlı Şubesi buna örnek gösterilebilir. Bu durumda bölgede seçilmiş çimento fabrikalarında çamur yakılması toplam yatırım maliyetlerini düşürmeye yardımcı olacaktır.

Tablo 11.87: Akdeniz Bölgesi 2. Senaryo: Çamurların yararlı kullanım noktalarına optimum dağılımları (çamur miktarları kg/saat olarak verilmiştir)

AAT İsmi	TOPLAM %90 KURULUKTA-Kİ ÇAMUR MİKTARLARI	Adana Çimento	AS Çimento	Çimko Çimento Narlı Şubesi	Çimsa Mersin Çimento	Göлтаş Göller Bölgesi Çimento	Mersin Beyaz Çimento
Adana/Karaisali AAT	2,14	2,14	-	-	-	-	-
Adana/Kozan AAT	68,18	68,18	-	-	-	-	-
Adana/Seyhan AAT	1254,31	1.254,31	-	-	-	-	-
Adana/Yumurtalık AAT	3,26	1,03	-	-	1,12	-	1,11
Adana/Yüreğir AAT	548,57	548,57	-	-	-	-	-
Antalya/Alanya AAT	809,37	-	809,37	-	-	-	-
Antalya/Beldibi AAT	86,29	-	86,29	-	-	-	-
Antalya/Belek 1 AAT	170,16	-	170,16	-	-	-	-
Antalya/Çamyuva AAT	108,37	-	108,37	-	-	-	-
Antalya/Gazipaşa AAT	32,71	-	32,71	-	-	-	-
Antalya/Hurma İleri Biyolojik AAT	1495,19	-	1.495,19	-	-	-	-
Antalya/Kemer AAT	175,75	-	175,75	-	-	-	-
Antalya/Kızıltepe(Göynük) AAT	79,65	-	79,65	-	-	-	-
Antalya/Konaklı AAT	100,96	-	100,96	-	-	-	-
Antalya/Kumköy AAT	146,20	-	146,20	-	-	-	-
Antalya/Kumluca AAT	33,70	-	33,70	-	-	-	-
Antalya/Lara İleri Biyolojik AAT	265,01	-	265,01	-	-	-	-
Antalya/Mahmutlar AAT	60,55	-	60,55	-	-	-	-
Antalya/Manavgat AAT	204,79	-	204,79	-	-	-	-
Antalya/Okurcalar AAT	30,53	-	30,53	-	-	-	-
Antalya/Serik AAT	73,59	-	73,59	-	-	-	-
Antalya/Tekirova AAT	30,52	-	30,52	-	-	-	-
Antalya/Titreyengöl AAT	30,52	-	30,52	-	-	-	-
Antalya/Turaş Tur. Tic. AŞ. İncekum AAT	53,99	-	53,99	-	-	-	-

Tablo 11.87 (devam): Akdeniz Bölgesi 2. Senaryo: Çamurların yararlı kullanım noktalarına optimum dağılımları (çamur miktarları kg/saat olarak verilmiştir)

AAT İsmi	TOPLAM %90 KURULUKTA-Kİ ÇAMUR MİKTARLARI	Adana Çimento	AS Çimento	Çimko Çimento Narlı Şubesi	Çimsa Mersin Çimento	Göлтаş Göller Bölgesi Çimento	Mersin Beyaz Çimento
Antalya/Turaş Tur.Tic. AŞ. Oba-Tosmur- Cikcilli AAT	94,61	-	94,61	-	-	-	-
Antalya/Turaş Tur.Tic. AŞ. Türkler AAT	25,78	-	25,78	-	-	-	-
Antalya/TuraşTur.Tic.Aş.Belek2 AAT	297,63	-	297,63	-	-	-	-
Antalya/TuraşTur.Tic.Aş.Boğazkent AAT	38,76	-	38,76	-	-	-	-
Hatay/Antakya AAT	37,31	-	-	37,31	-	-	-
Hatay/İskenderun AAT	161,83	161,83	-	-	-	-	-
Hatay/Payas AAT	9,95	9,95	-	-	-	-	-
Isparta/Eğirdir AAT	68,12	-	-	-	-	68,12	-
Isparta/Merkez AAT	296,21	-	-	-	-	296,21	-
Mersin/Atakent AAT	8,20	-	-	-	4,10	-	4,10
Mersin/Karaduvar AAT	868,51	-	-	-	454,00	-	414,51
Mersin/Kargıpınarı AAT	9,95	-	-	-	4,97	-	4,98
Mersin/Kızıkalesi AAT	5,97	-	-	-	2,99	-	2,98
Mersin/Silifke AAT	24,51	-	-	-	12,20	-	12,31
Mersin/Tarsus AAT	673,92	-	-	-	350,44	-	323,48
Osmaniye/Merkez AAT	141,45	141,45	-	-	-	-	-
Nakliye edilen çamur miktarı (kg/saat)	8627,02	2187,47	4444,62	37,31	829,83	364,33	763,47
Nakliye edilen çamur miktarı (ton/gün)	207,05	52,50	106,67	0,90	19,92	8,74	18,32
Nakliye edilen çamur miktarı (ton/yıl)	75.572,70	19.162,21	38.934,88	326,83	7.269,27	3.191,51	6.687,99
Yararlı kullanım Yöntemlerinin kapasiteleri (ton/yıl):	416.165,38	66.150,44	123.665,38	99.657,08	35.261,06	59.794,25	31.637,17
Yararlı kullanım yöntemlerinin kapasitelerinin kullanılan yüzdeleri (%)	18,2	29,0	31,5	0,3	20,6	5,3	21,1

Tablo 11.88: Akdeniz Bölgesi 2. Senaryo: Çamurların yararlı kullanım noktalarına optimum şekilde dağıtılmasının maliyetleri

AAT'lerin 2012yılı maliyetleri bazında %90 kuruluktaki çamurları çimento fabrikalarına ve tarım alanlarına toplam taşıma maliyetleri	Yakıt Maliyeti (TL)	Lastik Bakım Onarım Ve Personel Gideri Maliyeti (TL)	Çimento fabrikalarına ödenecek ücret (TL)	2012 YILI İÇİN TOPLAM BERTARAF MALİYETİ (TL)
Adana/Karaisali AAT	194	78	505	777
Adana/Kozan AAT	5.731	2.292	16.127	24.150
Adana/Seyhan AAT	27.603	11.041	296.668	335.313
Adana/Yumurtalık AAT	1.156	462	772	2.390
Adana/Yüreğir AAT	6.583	2.633	129.749	138.964
Antalya/Alanya AAT	163.733	65.493	191.433	420.659
Antalya/Beldibi AAT	8.639	3.456	20.409	32.504
Antalya/Belek 1 AAT	17.858	7.143	40.246	65.247
Antalya/Çamyuva AAT	13.100	5.240	25.632	43.971
Antalya/Gazipaşa AAT	8.091	3.236	7.736	19.063
Antalya/Hurma İleri Biyolojik AAT	105.782	42.313	353.641	501.737
Antalya/Kemer AAT	20.392	8.157	41.568	70.118
Antalya/Kızıltepe(Göynük) AAT	8.834	3.534	18.839	31.207
Antalya/Konaklı AAT	19.652	7.861	23.879	51.392
Antalya/Kumköy AAT	19.913	7.965	34.580	62.459
Antalya/Kumluca AAT	6.010	2.404	7.972	16.386
Antalya/Lara İleri Biyolojik AAT	24.559	9.824	62.680	97.062
Antalya/Mahmutlar AAT	13.482	5.393	14.321	33.196
Antalya/Manavgat AAT	30.134	12.054	48.436	90.624
Antalya/Okurcalar AAT	5.548	2.219	7.220	14.987
Antalya/Serik AAT	8.025	3.210	17.407	28.641
Antalya/Tekirova AAT	4.260	1.704	7.219	13.183
Antalya/Titreyengöl AAT	4.822	1.929	7.219	13.969
Antalya/Turaş Tur.Tic. AŞ. İncekum AAT	9.687	3.875	12.769	26.331
Antalya/Turaş Tur.Tic. AŞ. Oba-Tosmur- Cıkçilli AAT	19.938	7.975	22.377	50.291
Antalya/Turaş Tur.Tic. AŞ. Türkler AAT	2.262	905	6.096	9.263
Antalya/TuraşTur.Tic.Aş.Belek2 AAT	34.196	13.679	70.396	118.271
Antalya/TuraşTur.Tic.Aş.Boğazkent AAT	4.871	1.948	9.168	15.987

Tablo 11.88 (devam): Akdeniz Bölgesi 2. Senaryo: Çamurların yararlı kullanım noktalarına optimum şekilde dağıtılmasının maliyetleri

AAT'lerin 2012yılı maliyetleri bazında %90 kuruluktaki çamurları çimento fabrikalarına ve tarım alanlarına toplam taşıma maliyetleri	Yakıt Maliyeti (TL)	Lastik Bakım Onarım Ve Personel Gideri Maliyeti (TL)	Çimento fabrikalarına ödenecek ücret (TL)	2012 YILI İÇİN TOPLAM BERTARAF MALİYETİ (TL)
Hatay/Antakya AAT	7.243	2.897	8.824	18.965
Hatay/İskenderun AAT	20.970	8.388	38.277	67.635
Hatay/Payas AAT	1.145	458	2.353	3.956
Isparta/Eğirdir AAT	3.007	1.203	16.111	20.320
Isparta/Merkez AAT	5.939	2.376	70.060	78.375
Mersin/Atakent AAT	1.068	427	1.940	3.434
Mersin/Karaduvar AAT	9.889	3.956	205.421	219.265
Mersin/Kargıpınarı AAT	581	232	2.353	3.167
Mersin/Kızılkalesi AAT	961	384	1.413	2.758
Mersin/Silifke AAT	3.082	1.233	5.797	10.112
Mersin/Tarsus AAT	12.643	5.057	159.395	177.096
Osmaniye/Merkez AAT	12.006	4.803	33.457	50.266

Doğu Anadolu Bölgesi

Optimum çamur dağılımları ve çamur taşıma maliyetleri sırasıyla Tablo 11.89 ve Tablo 11.90'da verilmiştir. 2. Senaryo için Doğu Anadolu Bölgesinde en yüksek maliyete sahip olan tesis ürettiği çamur miktarından dolayı Malatya/Battalgazi AAT'dir. En çok yakıt giderine sahip olan ise çimento fabrikasına olan uzaklığı (118 km) nedeniyle yine Malatya/Battalgazi AAT'dir. Erzincan/Merkez ise en yakın çimento fabrikasına 137 km mesafede olmasına rağmen çamur üretimi Malatya/Battalgazi AAT'den daha düşüktür. Bu nedenle maliyetleri daha düşük seviyede kalmıştır.

Doğu Anadolu bölgesinde az sayıda (7 tane) atıksu arıtma tesisinin bulunması sebebiyle oluşan çamur miktarı diğer bölgelere göre daha azdır. Çimento fabrikaları genellikle mevcut arıtma tesislerinin bulunduğu il ya da onların komşu illerinde bulunmaktadır. Ancak, yukarıda da belirtildiği gibi Kars Çimento gibi çevresinde arıtma tesisi bulunmayan bölgelerde, çamur, ek yakıt hammadde olarak kullanılmaya elverişli değildir. Doğu Anadolu bölgesi için; günümüz çamur üretimi göz önünde alındığında, bu çamur miktarı mevcut çimento enerji kapasitesinin sadece %12'ini karşılayabilmektedir.

Tablo 11.89: Doğu Anadolu Bölgesi 2. Senaryo: Çamurların yararlı kullanım noktalarına optimum dağılımları (çamur miktarları kg/saat olarak verilmiştir)

AAT İsmi	TOPLAM %90 KURULUKTA-Kİ ÇAMUR MİKTARLARI	Aşkale-Erzurum Çimento	Aşkale -Van Çimento	Elazığ Altınova Çimento	Kars Çimento	Yurtçim Çimento
Bingöl/TOKİ Konutları	175,52	-	-	-	-	175,52
Elazığ/Mollakendi	198,77	-	-	198,77	-	-
Erzincan/Merkez	210,97	210,97	-	-	-	-
Malatya/Battalgazi	655,38	-	-	655,38	-	-
Van/Edremit	13,84	-	13,84	-	-	-
Van/Erciş	15,11	-	15,11	-	-	-
Van/Merkez	312,38	-	312,38	-	-	-
Nakliye edilen çamur miktarı (kg/saat)	1.581,97	210,97	341,33	854,15	-	175,52
Nakliye edilen çamur miktarı (ton/gün)	37,97	5,06	8,19	20,50	-	4,21
Nakliye edilen çamur miktarı (ton/yıl)	13.858,06	1.848,10	2.990,05	7.482,35	-	1.537,56
Yararlı kullanım Yöntemlerinin kapasiteleri (ton/yıl):	114.382,74	46.506,64	28.761,06	9.491,15	8.053,10	21.570,80
Yararlı kullanım yöntemlerinin kapasitelerinin kullanılan yüzdeleri (%)	12,1	4,0	10,4	78,8	0,0	7,1

Tablo 11.90: Doğu Anadolu Bölgesi 2. Senaryo: Çamurların yararlı kullanım noktalarına optimum şekilde dağıtılmasının maliyetleri

AAT'lerin 2012 yılı maliyetleri bazında %90 kuruluştaki çamurları çimento fabrikalarına ve tarım alanlarına toplam taşıma maliyetleri	Yakıt Maliyeti (TL)	Lastik Bakım Onarım Ve Personel Gideri Maliyeti (TL)	Çimento fabrikalarına ödenecek ücret (TL)	2012 YILI İÇİN TOPLAM BERTARAF MALİYETİ (TL)
Bingöl/TOKİ Konutları	20.392	8.157	41.514	70.063
Elazığ/Mollakendi	2.612	1.045	47.013	50.669
Erzincan/Merkez	29.408	11.763	49.899	91.070
Malatya/Battalgazi	77.937	31.175	155.010	264.122
Van/Edremit	53	21	3.273	3.347
Van/Erciş	1.932	773	3.574	6.278
Van/Merkez	7.596	3.038	73.884	84.518

Ege Bölgesi

Optimizasyon sonuçlarına göre Ege Bölgesinde 2. Senaryo için çamurların hangi çimento fabrikalarına hangi oranlarda gönderilebileceği Tablo 11.91'de verilmiştir. Bu miktarların ilgili noktalara ulaştırılmalarının maliyetleri ise Tablo 11.92'de verilmiştir. Görülebileceği gibi çamur yakma kapasitelerinin artmasıyla kullanılan kapasite oranları da 1. Senaryoya göre azalmıştır. Ancak Çimentaş'ın kapasitesi % 100 kullanılmaktadır. Ege bölgesinde en yüksek maliyete sahip olan tesis ürettiği çamur miktarından dolayı İzmir/Çiğli AAT'dir. Yine en çok yakıt giderine sahip olan ise çamur miktarının fazla olması nedeniyle yapılacak sefer sayısının en yüksek olduğu İzmir/Çiğli AAT'dir. Muğla/Dalaman 219 km mesafe olmasına rağmen çamur üretiminin düşük olması sebebiyle taşıma maliyeti düşüktür. Genel olarak çimento fabrikalarının kapasitelerinin %20'sinden fazla kısmının kullanıldığı söylenebilir. Çimento fabrikalarının kapasitelerinin 1. Senaryoya göre yüksek olması nedeniyle genellikle en yakın çimento fabrikalarının kapasiteleri kullanılabilmiştir.

Tablo 11.91: Ege Bölgesi 2. Senaryo: Çamurların yararlı kullanım noktalarına optimum dağılımları (çamur miktarları kg/saat olarak verilmiştir)

AAT İsmi	TOPLAM %90 KURULUKTA-Kİ ÇAMUR MİKTARLARI	Çimentaş İzmir Çimento	Batıçim Batı Anadolu Çimento	Batisöke Söke Çimento	Afyon Çimento	Denizli Çimento
Afyonkarahisar/Merkez AAT	142	-	-	-	142,01	-
Aydın/Atça 1. Etap AAT	3	-	-	2,77	-	-
Aydın/Çine AAT	22	-	-	21,78	-	-
Aydın/Didim AAT	165	-	-	165,42	-	-
Aydın/Nazilli AAT	82	-	-	81,62	-	-
Denizli/Merkez AAT	889	-	-	-	-	889,49
İzmir/Aliağa AAT	86	86,13	-	-	-	-
İzmir/Ayrancılar Yazıbaşı AAT	9	-	8,67	-	-	-
İzmir/Bayındır AAT	31	-	30,58	-	-	-
İzmir/Çiğli AAT	6288	5461,48	826,59	-	-	-
İzmir/Foça AAT	40	20,07	20,13	-	-	-
İzmir/Gümüldür AAT	9	-	9,35	-	-	-
İzmir/Güneybatı AAT	156	-	156,03	-	-	-
İzmir/Hacıömerli AAT	2	1,87	-	-	-	-
İzmir/Halilbeyli AAT	35	-	34,84	-	-	-
İzmir/Havza AAT	84	-	83,77	-	-	-
İzmir/İYTE Kampüs AAT	16	-	16,15	-	-	-
İzmir/Kemalpaşa AAT	40	-	39,92	-	-	-
İzmir/Kozbeyli AAT	3	-	2,67	-	-	-
İzmir/Menemen AAT	147	79,97	67,11	-	-	-
İzmir/Ödemiş AAT	266	266,35	-	-	-	-
İzmir/Torbalı AAT	21	-	21,44	-	-	-
İzmir/Urla AAT	100	-	100,15	-	-	-
izmir/ seferihisar	59	-	59,44	-	-	-
Kütahya/Merkez AAT	480	-	-	-	480,49	-

Tablo 11.91 (devam): Ege Bölgesi 2. Senaryo: Çamurların yararlı kullanım noktalarına optimum dağılımları (çamur miktarları kg/saat olarak verilmiştir)

AAT İsmi	TOPLAM %90 KURULUKTA-Kİ ÇAMUR MİKTARLARI	Çimentaş İzmir Çimento	Batıçim Batı Anadolu Çimento	Batisöke Söke Çimento	Afyon Çimento	Denizli Çimento
Manisa/Akhisar AAT	87	-	86,84	-	-	-
Manisa/Alaşehir AAT	175	-	174,68	-	-	-
Manisa/Gölmarmara AAT	3	-	2,84	-	-	-
Manisa/Merkez AAT	225	-	225,28	-	-	-
Muğla/Bitez AAT	29	-	-	28,72	-	-
Muğla/Dalaman AAT	74	-	-	-	-	73,86
Muğla/Fethiye AAT	267	-	-	-	-	267,33
Muğla/Konacık AAT	12	-	-	11,89	-	-
Muğla/Mariç Belbir AAT	375	-	-	374,78	-	-
Muğla/TASK Güllük AAT	6	-	-	5,65	-	-
Uşak/Merkez AAT	487	-	-	-	487,37	-
Nakliye edilen çamur miktarı (kg/saat)	10916	5916	1966	693	1110	1231
Nakliye edilen çamur miktarı (ton/gün)	261,97	141,98	47,20	16,62	26,64	29,54
Nakliye edilen çamur miktarı (ton/yıl)	95.620,04	51.823,06	17.226,32	6.067,44	9.722,46	10.780,76
Yararlı kullanım Yöntemlerinin kapasiteleri (ton/yıl):	186.864,16	51.823,06	39.603,98	28.855,25	14.380,53	52.201,33
Yararlı kullanım yöntemlerinin kapasitelerinin kullanılan yüzdeleri (%)	%51,2	%100,0	%43,5	%21,0	%67,6	%20,7

Tablo 11.92: Ege Bölgesi 2. Senaryo: Çamurların yararlı kullanım noktalarına optimum şekilde dağıtılmasının maliyetleri

AAT'lerin 2012yılı maliyetleri bazında %90 kuruluştaki çamurları çimento fabrikalarına ve tarım alanlarına toplam taşıma maliyetleri	Yakıt Maliyeti (TL)	Lastik Bakım Onarım Ve Personel Gideri Maliyeti (TL)	Çimento fabrikalarına ödenecek ücret (TL)	2012 YILI İÇİN TOPLAM BERTARAF MALİYETİ (TL)
Afyonkarahisar/Merkez AAT	1.660	664	33.588	35.912
Aydın/Atça 1. Etap AAT	441	176	655	1.272
Aydın/Çine AAT	1.830	732	5.151	7.713
Aydın/Didim AAT	9.921	3.968	39.125	53.015
Aydın/Nazilli AAT	7.604	3.042	19.305	29.950
Denizli/Merkez AAT	31.662	12.665	210.382	254.709
İzmir/Aliağa AAT	4.958	1.983	20.371	27.313
İzmir/Ayrancılar Yazıtbaşı AAT	514	206	2.051	2.770
İzmir/Bayındır AAT	2.384	954	7.233	10.571
İzmir/Çiğli AAT	179.380	71.752	1.487.254	1.738.386
İzmir/Foça AAT	3.113	1.245	9.508	13.866
İzmir/Gümüldür AAT	721	288	2.211	3.221
İzmir/Güneybatı AAT	9.318	3.727	36.904	49.949
İzmir/Hacıömerli AAT	223	89	442	755
İzmir/Halilibeyli AAT	1.503	601	8.240	10.344
İzmir/Havza AAT	3.685	1.474	19.813	24.973
İzmir/İYTE Kampüs AAT	1.237	495	3.820	5.551
İzmir/Kemalpaşa AAT	867	347	9.442	10.656
İzmir/Kozbeyli AAT	175	70	632	876
İzmir/Menemen AAT	5.302	2.121	34.787	42.210
İzmir/Ödemiş AAT	28.643	11.457	62.997	103.097
İzmir/Torbalı AAT	1.116	446	5.071	6.634
İzmir/Urla AAT	6.669	2.668	23.687	33.025
izmir/ seferihisar	4.529	1.811	14.059	20.399
Kütahya/Merkez AAT	49.888	19.955	113.645	183.489
Manisa/Akhisar AAT	7.389	2.955	20.539	30.883
Manisa/Alaşehir AAT	21.664	8.666	41.315	71.645
Manisa/Gölmarmara AAT	500	200	672	1.372
Manisa/Merkez AAT	8.063	3.225	53.283	64.572
Muğla/Bitez AAT	4.268	1.707	6.793	12.769
Muğla/Dalaman AAT	16.273	6.509	17.469	40.251
Muğla/Fethiye AAT	55.827	22.331	63.229	141.387
Muğla/Konacık AAT	1.899	760	2.812	5.471
Muğla/Mariç Belbir AAT	74.651	29.860	88.643	193.154
Muğla/TASK Güllük AAT	875	350	1.336	2.562
Uşak/Merkez AAT	56.823	22.729	115.273	194.825

Güneydoğu Anadolu Bölgesi

Optimizasyon sonuçlarına göre hangi tesise ne kadar çamurun gönderileceği Tablo 11.93’de verilmiştir. Maliyet tablosuna (Tablo 11.94) bakıldığında 2. Senaryo için Güneydoğu Anadolu Bölgesinde en yüksek maliyete sahip olan tesisin, bir çimento fabrikasına en yakın (6km) tesis olmasına rağmen, ürettiği çamur miktarından dolayı Gaziantep/GASKİ 1 AAT olduğu görülmektedir. Bu maliyetin nedeni çimento fabrikasına ödenecek olan miktardır. En çok yakıt giderine sahip olan ise çamur miktarının fazla olması nedeniyle yapılacak sefer sayısının en yüksek olduğu yine Gaziantep/GASKİ 1 AAT’dır. Limak Gaziantep çimento fabrikasının tüm kapasitesi Gaziantep çamurunun yakılması için kullanılmaktadır. Şanlıurfa/Ceylanpınar 98 km mesafe olmasına rağmen çamur üretiminin düşük olması sebebiyle taşıma maliyeti daha düşüktür.

Güneydoğu Anadolu bölgesinde az sayıda atıksu arıtma tesisin varlığı, oluşan çamurların da diğer bölgelere göre daha az olmasına sebep olmaktadır. Bu bölgede çimento fabrikalarının mevcut arıtma tesislerin bulunduğu il veya çevrelerinde bulunmasının bir avantaj olmasına rağmen, çimento fabrikalarının kapasiteleri karşılanamamaktadır. Sadece Limak Ergani Çimento’nun kapasitesi tam olarak kullanılmaktadır. Güney Doğu Anadolu Bölgesinde 2. Senaryo için toplam kapasitenin sadece %12’si kullanılabilir.

Tablo 11.93: Güneydoğu Anadolu Bölgesi 2. Senaryo: Çamurların yararlı kullanım noktalarına optimum dağılımları (çamur miktarları kg/saat olarak verilmiştir)

AAT İsmi	TOPLAM %90 KURULUKTA-Kİ ÇAMUR MİKTARLARI	Çimko Adıyaman Çimento Fabrikası	Limak Şanlıurfa Çimento Fabrikası	Limak Kurtalan Çimento Fabrikası	Limak Ergani Çimento Fabrikası	Limak Gaziantep Çimento Fabrikası	Mardin Çimento Fabrikası
Adıyaman/Kahta	10,08	10,08	-	-	-	-	-
GASKİ/Bilek	1,72	1,72	-	-	-	-	-
GASKİ/Durantaş	1,15	1,15	-	-	-	-	-
Gaziantep/GASKİ 1	2.000,32	428,28	-	-	-	1.572,04	-
Gaziantep/GASKİ 2	126,07	56,49	-	-	-	69,58	-
Siirt/Merkez	159,19	-	-	159,19	-	-	-
Şanlıurfa/Akçakale	48,53	-	48,53	-	-	-	-
Şanlıurfa/Ceylanpınar	26,70	-	-	-	-	-	26,70
Şanlıurfa/Suruç	7,22	-	7,22	-	-	-	-
Bertaraf Edilen Çamur (kg/saat)	2.380,98	497,73	55,75	159,19	-	1.641,61	26,70
Bertaraf Edilen Çamur (ton/gün)	57,14	11,95	1,34	3,82	-	39,40	0,64
Bertaraf Edilen Çamur (ton/yıl)	20.857,38	4.360,09	488,37	1.394,50	-	14.380,53	233,89
Çimento fabrikalarının %10'luk kapasitesi (toplam) (ton/yıl):	176.506,64	18.033,19	42.724,56	21.355,09	22.491,15	14.380,53	57.522,12
%10'luk kapasitenin kullanılan kısmı (%)	%11,8	%24,2	%1,1	%6,5	%0,0	%100,0	%0,4

Tablo 11.94: Güneydoğu Anadolu Bölgesi 2. Senaryo: Çamurların yararlı kullanım noktalarına optimum şekilde dağıtılmasının maliyetleri

AAT'lerin 2012 yılı maliyetleri bazında %90 kuruluktaki çamurları çimento fabrikalarına ve tarım alanlarına toplam taşıma maliyetleri	Yakıt Maliyeti (TL)	Lastik Bakım Onarım Ve Personel Gideri Maliyeti (TL)	Çimento fabrikalarına ödenecek ücret (TL)	2012 YILI İÇİN TOPLAM BERTARAF MALİYETİ (TL)
Adıyaman/Kahta	640	256	2.384	3.280
GASKİ/Bilek	347	139	407	892
GASKİ/Durantaş	416	166	272	854
Gaziantep/GASKİ 1	69.103	27.641	473.116	569.859
Gaziantep/GASKİ 2	9.957	3.983	29.818	43.758
Siirt/Merkez	4.449	1.780	37.652	43.880
Şanlıurfa/Akçakale	3.586	1.435	11.478	16.499
Şanlıurfa/Ceylanpınar	2.697	1.079	6.315	10.091
Şanlıurfa/Suruç	526	210	1.708	2.444

İç Anadolu Bölgesi

İkinci senaryo için optimum dağılımlar ve maliyetler sırasıyla Tablo 11.95 ve Tablo 11.96'da verilmektedir. İç Anadolu Bölgesinde en yüksek maliyete sahip olan tesis ürettiği çamur miktarından dolayı Ankara/ASKİ AAT'dir. Ankara/Evren tesisi en yakın çimento fabrikasına 160 km mesafede olmasına rağmen çamur üretiminin düşük olması sebebiyle taşıma maliyeti daha düşüktür. Sivas atıksu arıtma tesisi ile Sivas Çimento arasında 1 km mesafe olmasına rağmen üretilen çamur miktarı sebebiyle en düşük maliyete sahip değildir.

Tablo 11.95: İç Anadolu Bölgesi 2. Senaryo: Çamurların yararlı kullanım noktalarına optimum dağılımları (çamur miktarları kg/saat olarak verilmiştir)

AAT İsmi	TOPLAM %90 KURULUKTA-Kİ ÇAMUR MİKTARLARI	Baştaş Çimento Fabrikası	Cimpor Hasanoğlan Fabrikası	Limak Batı Ankara Çimento Fabrikası	Cimpor Sivas Çimento Fabrikası	Cimpor Yozgat Fabrikası	Çimsa Eskişehir Çimento Fabrikası	Çimsa Kayseri Çimento Fabrikası	Çimsa Niğde Çimento Fabrikası	Konya Çimento Fabrikası 1
Ankara/ASKİ Merkez AAT	3.761,09	747,63	-	3.013,46	-	-	-	-	-	-
Ankara/Çayırhan AAT	20,24	-	-	20,24	-	-	-	-	-	-
Ankara/Evren AAT	13,24	-	-	-	-	13,24	-	-	-	-
Çankırı/Şabanözü AAT	7,88	-	7,88	-	-	-	-	-	-	-
Çankırı/Yapraklı AAT	3,20	3,20	-	-	-	-	-	-	-	-
Eskişehir/ESKİ MerkezAAT	939,50	-	-	-	-	-	939,50	-	-	-
Karaman/Merkez AAT	5,31	-	-	-	-	-	-	-	-	5,31
Kayseri/Develi AAT	26,28	-	-	-	-	-	-	26,28	-	-
Kayseri/KASKİ MerkezAAT	2.518,53	-	-	-	-	-	-	2.518,53	-	-
Kırşehir/Merkez AAT	298,38	298,38	-	-	-	-	-	-	-	-
Konya/Akören AAT	4,25	-	-	-	-	-	-	-	-	4,25
Konya/Beyşehir AAT	55,05	-	-	-	-	-	-	-	-	55,05
Konya/Ereğli AAT	126,22	-	-	-	-	-	-	-	126,22	-
Konya/Güneysınır AAT	0,77	-	-	-	-	-	-	-	-	0,77
Konya/Ilgın AAT	17,49	-	-	-	-	-	-	-	-	17,49
Konya/Kadınhanı AAT	2,59	-	-	-	-	-	-	-	-	2,59
Konya/KOSKİ Başarakavak AAT	3,47	-	-	-	-	-	-	-	-	3,47
Konya/KOSKİ MerkezAAT	1.571,72	-	-	-	-	-	-	-	-	1.571,72
Konya/Kulu AAT	68,65	-	68,65	-	-	-	-	-	-	-
Konya/Tepekent AAT	1,33	-	-	-	-	-	-	-	-	1,33
Konya/Yukarıçiğil AAT	1,19	-	-	-	-	-	-	-	-	1,19
Konya/Zincirlikuyu AAT	1,24	-	-	-	-	-	-	-	-	1,24
Nevşehir/Avanos AAT	12,75	-	-	-	-	-	-	-	12,75	-

Tablo 11.95 (devam): İç Anadolu Bölgesi 2. Senaryo: Çamurların yararlı kullanım noktalarına optimum dağılımları (çamur miktarları kg/saat olarak verilmiştir)

AAT İsmi	TOPLAM %90 KURULUKTA-Kİ ÇAMUR MİKTARLARI	Baştaş Çimento Fabrikası	Cimpor Hasanoğlan Fabrikası	Limak Batı Ankara Çimento Fabrikası	Cimpor Sivas Çimento Fabrikası	Cimpor Yozgat Fabrikası	Çimsa Eskişehir Çimento Fabrikası	Çimsa Kayseri Çimento Fabrikası	Çimsa Niğde Çimento Fabrikası	Konya Çimento Fabrikası 1
Nevşehir/Derinkuyu Kaymaklı AAT	10,74	-	-	-	-	-	-	-	10,74	-
Nevşehir/Merkez AAT	222,33	-	-	-	-	-	-	-	222,33	-
Nevşehir/Ürgüp AAT	12,75	-	-	-	-	-	-	-	12,75	-
Niğde/Bor AAT	63,32	-	-	-	-	-	-	-	63,32	-
Niğde/Çukurkuyu AAT	8,56	-	-	-	-	-	-	-	8,56	-
Niğde/Merkez AAT	101,10	-	-	-	-	-	-	-	101,10	-
Sivas/Merkez AAT	591,42	-	-	-	591,42	-	-	-	-	-
Yozgat/Merkez AAT	26,58	-	-	-	-	26,58	-	-	-	-
Nakliye edilen çamur miktarı (kg/saat)	10.497,20	1.049,22	76,53	3.033,70	591,42	39,82	939,50	2.544,81	557,80	1.664,41
Nakliye edilen çamur miktarı (ton/gün)	251,93	25,18	1,84	72,81	14,19	0,96	22,55	61,08	13,39	39,95
Nakliye edilen çamur miktarı (ton/yıl)	91.955,50	9.191,15	670,38	26.575,22	5.180,83	348,83	8.230,04	22.292,52	4.886,29	14.580,24
Yararlı kullanım	265.026,66	59.523,98	25.948,81	26.575,22	13.278,12	23.500,09	39.402,65	23.871,68	11.941,59	40.984,51
Yöntemlerinin kapasiteleri (ton/yıl):										
Yararlı kullanım yöntemlerinin kapasitelerinin kullanılan yüzdeleri (%)	%34,7	%15,4	%2,6	%100,0	%39,0	%1,5	%20,9	%93,4	%40,9	%35,6

Tablo 11.96: İç Anadolu Bölgesi 2. Senaryo: Çamurların yararlı kullanım noktalarına optimum şekilde dağıtılmasının maliyetleri

AAT'lerin 2012yılı maliyetleri bazında %90 kuruluktaki çamurları çimento fabrikalarına ve tarım alanlarına toplam taşıma maliyetleri	Yakıt Maliyeti (TL)	Lastik Bakım Onarım Ve Personel Gideri Maliyeti (TL)	Çimento fabrikalarına ödenecek ücret (TL)	2012 YILI İÇİN TOPLAM BERTARAF MALİYETİ (TL)
Ankara/ASKİ Merkez AAT	189.916	75.966	889.574	1.155.456
Ankara/Çayırhan AAT	2.620	1.048	4.787	8.455
Ankara/Evren AAT	2.202	881	3.131	6.213
Çankırı/Şabanözü AAT	859	343	1.863	3.065
Çankırı/Yapraklı AAT	815	326	757	1.898
Eskişehir/ESKİ MerkezAAT	30.678	12.271	222.211	265.160
Karaman/Merkez AAT	705	282	1.256	2.242
Kayseri/Develi AAT	2.422	969	6.215	9.606
Kayseri/KASKİ MerkezAAT	126.592	50.637	595.683	772.912
Kırşehir/Merkez AAT	11.579	4.632	70.573	86.784
Konya/Akören AAT	378	151	1.004	1.534
Konya/Beyşehir AAT	5.895	2.358	13.020	21.273
Konya/Ereğli AAT	12.171	4.869	29.854	46.894
Konya/Güneysınır AAT	238	95	182	514
Konya/Ilgın AAT	1.607	643	4.137	6.386
Konya/Kadınhanı AAT	152	61	613	826
Konya/KOSKİ Başarakavak AAT	231	92	820	1.143
Konya/KOSKİ MerkezAAT	16.586	6.635	371.743	394.964
Konya/Kulu AAT	9.946	3.978	16.238	30.162
Konya/Tepekent AAT	37	15	315	367
Konya/Yukarıçiğil AAT	219	88	282	589
Konya/Zincirlikuyu AAT	374	150	294	818
Nevşehir/Avanos AAT	1.372	549	3.017	4.937
Nevşehir/Derinkuyu Kaymaklı AAT	580	232	2.541	3.353
Nevşehir/Merkez AAT	20.107	8.043	52.586	80.735
Nevşehir/Ürgüp AAT	1.324	529	3.017	4.870
Niğde/Bor AAT	1.361	544	14.977	16.882
Niğde/Çukurkuyu AAT	474	190	2.025	2.690
Niğde/Merkez AAT	428	171	23.912	24.511
Sivas/Merkez AAT	594	238	139.882	140.715
Yozgat/Merkez AAT	443	177	6.287	6.908

İç Anadolu bölgesinde atıksu arıtma tesisleri sayısı ve üretilen çamur miktarları göz önüne alındığında bölgedeki çimento fabrikası sayısı ve kapasitesi üretilen çamur miktarını karşılayabilme özelliğine sahiptir. Ankara Tatlar Atıksu Arıtma Tesisi Türkiye'nin çamur üretimi açısından ikinci büyük tesisidir. Bu özellik göz önünde bulundurulduğunda Ankara ve çevresindeki çimento fabrikalarının çamurun yararlı kullanımı için oldukça uygun alternatifler olduklarını söylemek mümkündür. Özellikle Limak Batı Çimento fabrikasının, tesise en yakın çimento fabrikası olması özelliğiyle ek yakıt kapasitesinin (%10) tamamını atık çamurdan sağlayabileceği öngörülmüştür. Yozgat Çimento fabrikası kapasiteleri çok düşük olan Yozgat ve Ankara/Evren atıksu arıtma tesislerinin; Çimpor Hasanoğlan Çimento Fabrikası ise Çankırı/Şabanözü ve Konya/Kulu atıksu arıtma tesislerinin atık çamurlarını alabilmektedir. Ancak bu tesislerin kapasitelerinin sadece bir bölümü kullanılabilir. Çimsa Kayseri çimento fabrikası kapasitesinin tamamını karşılayabilmektedir. Bu senaryo için İç Anadolu Bölgesine oluşan tüm çamurların miktarı, mevcut çimento enerji kapasitesinin (%10) %35'ini karşılayabilmektedir.

Karadeniz Bölgesi

Karadeniz Bölgesi için optimum dağılımlar Tablo 11.97, taşıma maliyetleri ise Tablo 11.98'de verilmiştir. Karadeniz bölgesinde en yüksek maliyete sahip olan tesis ürettiği çamur miktarından dolayı Düzce/Merkez AAT + Düzce/Ak Evler AAT'dir. En çok yakıt giderine sahip olan ise çamur miktarının fazla olması nedeniyle yapılacak sefer sayısının en yüksek olduğu yine Düzce/Merkez AAT ve Düzce/Ak Evler AAT'dir. Artvin/Hopa en yakın çimento fabrikasına 169 km mesafede olmasına rağmen çamur üretiminin düşük olması sebebiyle taşıma maliyeti daha düşüktür. Karadeniz Bölgesinde çimento fabrikaları bulunmasına rağmen, bölgede yüksek kapasiteli çamur üretimleri olmadığı için bir çok çimento fabrikasının ihtiyacını karşılayamamaktadır. Çamur üretimi toplam kapasitesinin sadece %5'ini karşılayabilmektedir. Bolu çimento Düzce'ye yakın olması itibarıyla kapasitesinin büyük bir kısmını karşılamaktadır. Bunu %15 ile Çorum Çimento takip etmektedir. Diğer çimento fabrikaları ise sadece buldukları illerin çamurlarını alabildikleri için kapasitelerinin çok az bir kısmını karşılamaktadırlar. Karadenizin dağlık bir bölge olduğunu düşünülürse, 250 km taşıma kısıtlamasıyla çamurların başka bir ile taşınması mümkün görünmemektedir.

Tablo 11.97: Karadeniz Bölgesi 2. Senaryo: Çamurların yararlı kullanım noktalarına optimum dağılımları (çamur miktarları kg/saat olarak verilmiştir)

AAT İsmi	TOPLAM %90 KURULUKTA-Kİ ÇAMUR MİKTARLARI	Bolu Çimento Fabrikası	Bartın Çimento Fabrikası	Aşkale Trabzon Çimento Fabrikası	Cimpor Çorum Çimento Fabrikası	Akçansa Samsun Çimento Fabrikası	Adoçim Tokat Çimento Fabrikası	Ünye Çimento Fabrikası
Amasya/Merzifon AAT	0,08	-	-	-	-	0,08	-	-
Artvin/Hopa AAT	0,03	-	-	0,03	-	-	-	-
Bolu/Gerede AAT	9,95	9,95	-	-	-	-	-	-
Bolu/Merkez AAT	91,01	91,01	-	-	-	-	-	-
Çorum/Merkez AAT	205,46	-	-	-	205,46	-	-	-
Düzce/Akçakoca AAT	57,40	57,40	-	-	-	-	-	-
Düzce/Merkez AAT + Düzce/Ak Evler AAT	241,01	241,01	-	-	-	-	-	-
Karabük/Merkez AAT	63,63	-	63,63	-	-	-	-	-
Ordu/Akçaova AAT	1,65	-	-	-	-	-	-	1,65
Samsun/Alaçam AAT	39,62	-	-	-	-	39,62	-	-
Samsun/Bafra AAT	104,21	-	-	-	-	104,21	-	-
Samsun/Ondokuzmayıs AAT	2,54	-	-	-	-	2,54	-	-
Tokat/Erbaa AAT	83,78	-	-	-	-	83,78	-	-
Tokat/Merkez AAT	6,55	-	-	-	-	-	6,55	-
Zonguldak/Devrek AAT	26,16	-	26,16	-	-	-	-	-
Nakliye edilen çamur miktarı (kg/saat)	933,08	399,37	89,79	0,03	205,46	230,23	6,55	1,65
Nakliye edilen çamur miktarı (ton/gün)	22,39	9,58	2,15	-	4,93	5,53	0,16	0,04
Nakliye edilen çamur miktarı (ton/yıl)	8.173,78	3.498,48	786,56	0,26	1.799,83	2.016,81	57,38	14,45
Yararlı kullanım Yöntemlerinin kapasiteleri (ton/yıl):	171.159,38	6.738,72	43.141,59	18.507,74	11.389,38	44.772,35	34.973,45	11.636,15
Yararlı kullanım yöntemlerinin kapasitelerinin kullanılan yüzdeleri (%)	%4,8	%51,9	%1,8	%0,0	%15,8	%4,5	%0,2	%0,1

Tablo 11.98: Karadeniz Bölgesi 2. Senaryo: Çamurların yararlı kullanım noktalarına optimum şekilde dağıtılmasının maliyetleri

AAT'lerin 2012 yılı maliyetleri bazında %90 kuruluktaki çamurları çimento fabrikalarına ve tarım alanlarına toplam taşıma maliyetleri	Yakıt Maliyeti (TL)	Lastik Bakım Onarım Ve Personel Gideri Maliyeti (TL)	Çimento fabrikalarına ödenecek ücret (TL)	2012 YILI İÇİN TOPLAM BERTARAF MALİYETİ (TL)
Amasya/Merzifon AAT	141	56	19	216
Artvin/Hopa AAT	465	186	7	658
Bolu/Gerede AAT	583	233	2.353	3.170
Bolu/Merkez AAT	1.029	412	21.526	22.967
Çorum/Merkez AAT	2.993	1.197	48.595	52.785
Düzce/Akçakoca AAT	6.068	2.427	13.576	22.072
Düzce/Merkez AAT + Düzce/Ak Evler AAT	20.101	8.040	57.004	85.145
Karabük/Merkez AAT	6.737	2.695	15.050	24.481
Ordu/Akçaova AAT	149	60	390	599
Samsun/Alaçam AAT	5.820	2.328	9.371	17.520
Samsun/Bafra AAT	12.557	5.023	24.648	42.228
Samsun/Ondokuzmayıs AAT	208	83	601	892
Tokat/Erbaa AAT	6.688	2.675	19.816	29.179
Tokat/Merkez AAT	388	155	1.549	2.092
Zonguldak/Devrek AAT	2.092	837	6.187	9.115

Marmara Bölgesi

Marmara bölgesi için optimum dağıtım Tablo 11.99, çamurun ilgili noktalara ulaştırmanın maliyetleri ise Tablo 11.100'de verilmiştir. Marmara bölgesinde en yüksek maliyete sahip olan tesis ürettiği çamur miktarından dolayı İstanbul/İSKİ Tuzla AAT'dir. En çok yakıt giderine sahip olan ise çamur miktarının fazla olması nedeniyle yapılacak sefer sayısının en yüksek olduğu İstanbul/İSKİ Tuzla AAT'dir. Yükseltilmiş kapasitelere rağmen 3 çimento fabrikası yeterli çamur alabilmektedir (Tablo 11.99). Pınarhisar ve Edirne çimento fabrikalarına giden çamur miktarları ihtiyaç duyulanın çok azını karşılayabilecek oradadır. Bunlara ek olarak Bilecik/Sançım çimento fabrikası mevcut arıtma tesislerine diğer çimento fabrikalarından daha uzakta olduğu için optimizasyon programı tarafından seçilmemiştir. Marmara Bölgesindeki tüm çamur üretimi göz önünde alındığında, 2. Senaryo için öngörülen çimento fabrikaları kapasitesinin sadece %27'si karşılanabilmektedir.

Tablo 11.99: Marmara Bölgesi 2. Senaryo: Çamurların Yararlı Kullanım Noktalarına Optimum Dağılımları (Çamur Miktarları kg/saat Olarak Verilmiştir)

AAT İsmi	TOPLAM %90 KURULUKTA-Kİ ÇAMUR MİKTARLARI	Akçansa Büyük-çekmece Çimento	Akçansa Çanakkale Çimento	Bursa Çimento	Edirne Çimenta ş Çimento	Aslan Çimento	Nuh Çimento	Bilecik / SANCIM Çimento	TRACI M Çimento	Limak ve Batı Pinarhisar Çimento	Limak Batı Balıkesir Çimento
Balıkesir/Altınoluk AAT	208,33	-	208,33	-	-	-	-	-	-	-	-
Balıkesir/Burhaniye AAT	55,39	-	-	-	-	-	-	-	-	-	55,39
Balıkesir/Edremit AAT	145,94	-	-	-	-	-	-	-	-	-	145,94
Balıkesir/Gömeç AAT	2,49	-	-	-	-	-	-	-	-	-	2,49
Balıkesir/Karaağaç AAT	2,37	-	-	-	-	-	-	-	-	-	2,37
Balıkesir/Merkez AAT	171,20	-	-	-	-	-	-	-	-	-	171,20
Balıkesir/Ocaklar AAT	0,09	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0,09
Bursa/BUSKİ Batı	905,70	-	-	905,70	-	-	-	-	-	-	-
Bursa/BUSKİ Çalı	6,36	-	-	6,36	-	-	-	-	-	-	-
Bursa/BUSKİ Doğu	1.442,84	-	-	1.442,84	-	-	-	-	-	-	-
Bursa/BUSKİ Hasanağa	11,72	-	-	11,72	-	-	-	-	-	-	-
Bursa/BUSKİ Kayapa	1,01	-	-	1,01	-	-	-	-	-	-	-
Bursa/İnegöl Organize	606,77	-	-	606,77	-	-	-	-	-	-	-
Bursa/İnegöl Yenice	13,08	-	-	13,08	-	-	-	-	-	-	-
Bursa/Karacabey	35,64	-	-	35,64	-	-	-	-	-	-	-
Bursa/Yeşil Çevre A.Ş.	774,77	-	-	774,77	-	-	-	-	-	-	-
Çanakkale/Ayvacık AAT	3,10	-	3,10	-	-	-	-	-	-	-	-
Çanakkale/Eceabat AAT	6,42	-	-	-	6,42	-	-	-	-	-	-
Çanakkale/Geyikli AAT	8,59	-	8,59	-	-	-	-	-	-	-	-
Çanakkale/Kepez AAT	5,96	-	5,96	-	-	-	-	-	-	-	-
Çanakkale/Mahmudiye AAT	8,18	-	8,18	-	-	-	-	-	-	-	-
Çanakkale/Umurbey AAT	1,65	-	1,65	-	-	-	-	-	-	-	-
Edirne/Yenikarpuzlu	1,91	-	-	-	1,91	-	-	-	-	-	-

Tablo 11.99 (devam): Marmara Bölgesi 2. Senaryo: Çamurların Yararlı Kullanım Noktalarına Optimum Dağılımları (Çamur Miktarları kg/saat Olarak Verilmiştir)

AAT İsmi	TOPLAM %90 KURULUKTA-Kİ ÇAMUR MİKTARLARI	Akçansa Büyük-çekmece Çimento	Akçansa Çanakkale Çimento	Bursa Çimento	Edirne Çimenta ş Çimento	Aslan Çimento	Nuh Çimento	Bilecik / SANCIM Çimento	TRACI M Çimento	Limak ve Batı Pinarhisar Çimento	Limak Batı Balıkesir Çimento
İstanbul/Ağva	4,34	-	-	-	-	4,34	-	-	-	-	-
İstanbul/Bahçeşehir	32,32	32,32	-	-	-	-	-	-	-	-	-
İstanbul/Gümüşyaka	6,93	-	-	-	-	-	-	6,93	-	-	-
İstanbul/İSKİ Ataköy AAT	2.311,48	1.374,50	-	-	-	-	936,98	-	-	-	-
İstanbul/İSKİ Çantaköy AAT	36,03	-	-	-	-	-	-	-	36,03	-	-
İstanbul/İSKİ Kömürlük AAT	0,22	-	-	-	-	-	0,22	-	-	-	-
İstanbul/İSKİ Sahilköy AAT	0,13	-	-	-	-	-	0,13	-	-	-	-
İstanbul/İSKİ Tuzla AAT	3.095,23	-	-	-	-	2.574,32	520,91	-	-	-	-
İstanbul/İSKİ Yeniköy AAT	0,25	-	-	-	-	-	0,25	-	-	-	-
İstanbul/Öğümce Paket Arıtma	1,04	-	-	-	-	1,04	-	-	-	-	-
İstanbul/Ömerli	9,51	-	-	-	-	-	9,51	-	-	-	-
İstanbul/Paşaköy	1.368,54	-	-	-	-	-	1.368,54	-	-	-	-
İstanbul/Terkos	4,97	4,97	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Kocaeli /İSU Körfez AAT	435,07	-	-	-	-	-	435,07	-	-	-	-
Kocaeli/Dilovası Bel. ve OSB AAT	109,26	-	-	-	-	-	109,26	-	-	-	-
Kocaeli/İSU 42 Evler AAT	520,89	-	-	-	-	-	520,89	-	-	-	-
Kocaeli/İSU Bağıranlı AAT	2,74	-	-	-	-	-	2,74	-	-	-	-
Kocaeli/İSU Gebze AAT	670,69	-	-	-	-	670,69	-	-	-	-	-

Tablo 11.99 (devam): Marmara Bölgesi 2. Senaryo: Çamurların Yararlı Kullanım Noktalarına Optimum Dağılımları (Çamur Miktarları kg/saat Olarak Verilmiştir)

AAT İsmi	TOPLAM %90 KURULUKTA-Kİ ÇAMUR MİKTARLARI	Akçansa Büyük-çekmece Çimento	Akçansa Çanakkale Çimento	Bursa Çimento	Edirne Çimenta ş Çimento	Aslan Çimento	Nuh Çimento	Bilecik / SANCIM Çimento	TRACI M Çimento	Limak ve Batı Pinarhisar Çimento	Limak Batı Balıkesir Çimento
Kocaeli/İSU Gölcük Yeniköy AAT	336,79	-	-	-	-	-	336,79	-	-	-	-
Kocaeli/İSU Karamürsel AAT	67,23	-	-	-	-	-	67,23	-	-	-	-
Kocaeli/İSU Kullar AAT	421,90	-	-	-	-	-	421,90	-	-	-	-
Kocaeli/İSU Plajyolu AAT	538,15	-	-	-	-	-	538,15	-	-	-	-
Sakarya/Akyazı	94,10	-	-	-	-	-	94,10	-	-	-	-
Sakarya/Hendek	121,50	-	-	-	-	-	121,50	-	-	-	-
Sakarya/Karaman	837,66	-	-	-	-	-	837,66	-	-	-	-
Tekirdağ/Barbaros	1,68	-	-	-	-	-	-	-	1,68	-	-
Tekirdağ/Marmaraereğlisi	29,15	-	-	-	-	-	-	-	29,15	-	-
Tekirdağ/Yeniçiftlik	8,13	-	-	-	-	-	-	-	-	8,13	-
Yalova/Armutlu AAT	7,96	-	-	7,96	-	-	-	-	-	-	-
Yalova/TASK-KAB Altınova AAT	11,25	-	-	-	-	-	11,25	-	-	-	-
Nakliye edilen çamur miktarı (kg/saat)	15.504,65	1.411,79	235,81	3.805,85	8,33	3.250,39	6.333,08	-	73,79	8,13	377,48
Nakliye edilen çamur miktarı (ton/gün)	372,11	33,88	5,66	91,34	0,20	78,01	151,99	-	1,77	0,20	9,06
Nakliye edilen çamur miktarı (ton/yıl)	135.820,73	12.367,26	2.065,70	33.339,25	72,97	28.473,45	55.477,77	-	646,40	71,22	3.306,72
Yararlı kullanım Yöntemlerinin kapasiteleri (ton/yıl):	502.798,21	12.367,26	31.637,17	40.265,49	115.044,25	28.473,45	55.882,74	35.971,46	20.938,05	47.455,75	114.762,59
Yararlı kullanım yöntemlerinin kapasitelerinin kullanılan yüzdeleri (%)	%27,0	%100,0	%6,5	%82,8	%0,1	%100,0	%99,3	%0,0	%3,1	%0,2	%2,9

Tablo 11.100: Marmara Bölgesi 2. Senaryo: Çamurların yararlı kullanım noktalarına optimum şekilde dağıtılmasının maliyetleri

AAT'lerin 2012yılı maliyetleri bazında %90 kuruluftaki çamurları çimento fabrikalarına ve tarım alanlarına toplam taşıma maliyetleri	Yakıt Maliyeti (TL)	Lastik Bakım Onarım Ve Personel Gideri Maliyeti (TL)	Çimento fabrikalarına ödenecek ücret (TL)	2012 YILI İÇİN TOPLAM BERTARAF MALİYETİ (TL)
Balıkesir/Altınoluk AAT	17.588	7.035	49.274	73.897
Balıkesir/Burhaniye AAT	5.953	2.381	13.101	21.434
Balıkesir/Edremit AAT	14.861	5.944	34.518	55.323
Balıkesir/Gömeç AAT	325	130	589	1.044
Balıkesir/Karaağaç AAT	308	123	561	992
Balıkesir/Merkez AAT	2.375	950	40.492	43.818
Balıkesir/Ocaklar AAT	366	146	21	534
Bursa/BUSKİ Batı	29.149	11.660	214.216	255.025
Bursa/BUSKİ Çalı	253	101	1.504	1.858
Bursa/BUSKİ Doğu	21.755	8.702	341.261	371.717
Bursa/BUSKİ Hasanağa	645	258	2.772	3.675
Bursa/BUSKİ Kayapa	258	103	239	600
Bursa/İnegöl Organize	25.660	10.264	143.513	179.437
Bursa/İnegöl Yenice	482	193	3.094	3.768
Bursa/Karacabey	3.044	1.217	8.430	12.691
Bursa/Yeşil Çevre A.Ş.	7.788	3.115	183.249	194.152
Çanakkale/Ayvacık AAT	249	100	733	1.082
Çanakkale/Eceabat AAT	1.965	786	1.518	4.269
Çanakkale/Geyikli AAT	154	62	2.032	2.247
Çanakkale/Kepez AAT	355	142	1.410	1.907
Çanakkale/Mahmudiye AAT	66	26	1.935	2.027
Çanakkale/Umurbey AAT	193	77	390	660
Edirne/Yenikarpuzlu	443	177	452	1.072
İstanbul/Ağva	457	183	1.026	1.667
İstanbul/Bahçeşehir	760	304	7.644	8.708
İstanbul/Gümüşyaka	660	264	1.639	2.564
İstanbul/İSKİ Ataköy AAT	127.032	50.813	546.711	724.556
İstanbul/İSKİ Çantaköy AAT	3.082	1.233	8.522	12.837
İstanbul/İSKİ Kömürlük AAT	197	79	52	328
İstanbul/İSKİ Sahilköy AAT	237	95	31	362

Tablo 11.100 (devam): Marmara Bölgesi 2. Senaryo: Çamurların yararlı kullanım noktalarına optimum şekilde dağıtılmasının maliyetleri

AAT'lerin 2012yılı maliyetleri bazında %90 kuruluştaki çamurları çimento fabrikalarına ve tarım alanlarına toplam taşıma maliyetleri	Yakıt Maliyeti (TL)	Lastik Bakım Onarım Ve Personel Gideri Maliyeti (TL)	Çimento fabrikalarına ödenecek ücret (TL)	2012 YILI İÇİN TOPLAM BERTARAF MALİYETİ (TL)
İstanbul/İSKİ Tuzla AAT	91.889	36.756	732.084	860.729
İstanbul/İSKİ Yeniköy AAT	316	127	59	502
İstanbul/Öğümce Paket Arıtma	187	75	246	508
İstanbul/Ömerli	649	260	2.249	3.159
İstanbul/Paşaköy	64.672	25.869	323.687	414.228
İstanbul/Terkos	297	119	1.176	1.592
Kocaeli /İSU Körfez AAT	8.314	3.326	102.903	114.542
Kocaeli/Dilovası Bel. ve OSB AAT	848	339	25.842	27.029
Kocaeli/İSU 42 Evler AAT	18.397	7.359	123.201	148.957
Kocaeli/İSU Bağıranlı AAT	490	196	648	1.334
Kocaeli/İSU Gebze AAT	7.147	2.859	158.632	168.637
Kocaeli/İSU Gölcük Yeniköy AAT	15.909	6.364	79.658	101.931
Kocaeli/İSU Karamürsel AAT	5.435	2.174	15.901	23.511
Kocaeli/İSU Kullar AAT	11.443	4.577	99.788	115.808
Kocaeli/İSU Plajyolu AAT	14.638	5.855	127.283	147.776
Sakarya/Akyazı	9.632	3.853	22.257	35.741
Sakarya/Hendek	13.870	5.548	28.737	48.155
Sakarya/Karaman	63.158	25.263	198.123	286.545
Tekirdağ/Barbaros	262	105	397	764
Tekirdağ/Marmaraereğlisi	3.269	1.308	6.895	11.472
Tekirdağ/Yeniçiftlik	908	363	1.923	3.194
Yalova/Armutlu AAT	741	296	1.883	2.919
Yalova/TASK-KAB Altınova AAT	1.115	446	2.661	4.221

Optimizasyon sonuçları genel olarak değerlendirildiğinde, çamurun kurutulduktan sonra çimento fabrikalarında yakılmasının kapasite açısından sorun oluşturmayacağı görülmektedir. Öyleki, yeni arıtma tesislerinin kurulması ve nüfus artışıyla beraber oluşacak çamur üretimindeki artışı bile

karşılayabilecek kapasite mevcuttur. Ancak, klinker üretimi için gerekli enerjinin sadece %3'ünün çamurdan sağlanması Ege ve Marmara Bölgeleri için kapasite bakımından kritik koşulların oluşmasına sebep olabilir. Bu bölgelerde daha yüksek oranlar teşvik edilmelidir. Ya da farklı alternatif yöntemleri (yakma, kireç fabrikalarında kullanım gibi) de ek olarak düşünülmelidir. Ancak, çamurun çimento fabrikalarının alımı için ödenecek miktarlar çok yüksek boyutlara ulaşabilir. Bu konunun değerlendirilmesinde fayda vardır.

Tarımda kullanım, kısıtlı bitki türlerine bağlı olduğu durumda her bölge için uygun bir seçenek olmayabilir. Proje boyunca karşılaşıldığı üzere çamurun tarımsal amaçlı kullanımı konusunda hassasiyetler mevcuttur. Bu nedenle ilgililerin bir araya gelerek bu konuda bir politika oluşturmalarında yarar vardır. Genel sonuçlar Türkiye'de üretilen çamurların tüm çimento fabrikaları ve/veya tarımsal araziler için yeterli olmadığı, bu nedenle aslında çamurun yararlı kullanımı açısından Türkiye'nin kapasite sorunu olmadığına işaret etmektedir. Burada belirleyici faktör maliyetler olacaktır. Uygulamaların tüm çimento fabrikaları ve ilgili tüm tarım arazileri için değil, seçilmiş olanlar için yapılması, ekonomik açıdan daha verimli olabilir.

Üzerinde durulması gereken önemli bir husus şudur ki, optimizasyon sonuçları sistem kısıtlamalarına bağlı olarak değişebileceği gerçeğidir. Bunun yanında, bölgesel bazlı yaklaşım yerine ülke genelinde bir optimizasyon uygulaması çamurun farklı noktalara dağıtılmasına ve daha düşük maliyetlerin elde edilmesine olanak tanıyabilir. Örneğin, Marmara'ya, İç Anadolu Bölgesinin kuzey batı bölümüne ve Batı Karadeniz Bölgesine çok yakın olan Bolu Çimento gibi tesisler sadece buldukları bölgeden değil farklı bölgelerden de çamur temin edebilir. Ancak böyle bir yaklaşımla oluşturulacak olan bir optimizasyon modelinin çözümü teknik gerekçelerle zor olabilir. Bu rapordaki sonuçlar karşılaştırma ve yol gösterme amaçlı kullanılmalıdır. Karar verme aşaması için çok daha detaylı incelemelere gerek olabilir. Bir diğer konu da optimizasyon çalışmasında tarım uygulaması için yönetmelikte (Evsel ve Kentsel Arıtma Çamurlarının Toprakta Kullanımına Dair Yönetmelik) belirtildiği şekilde sadece stabilize çamurlar değerlendirilmiştir. Ancak bu uygulamada analiz sonuçları olmadığından tüm bu tesislerin yönetmelik sınır değerlerine uyduğu varsayılmıştır. Çamur analizlerinin yapıldığı ve yönetmelik kapsamında bazı çamurlar için tarımsal uygulamanın mümkün olmadığına ortaya çıkması durumunda da genel resim değişecektir.

11.2. DEÜ GRUBU TARAFINDAN YAPILAN ÇALIŞMALAR

“IP11 - Arıtma Çamurlarının Ek Yakıt Olarak Kullanımı” çalışmaları kapsamında Dokuz Eylül Üniversitesi sorumluluğunda KİMTAŞ A.Ş. tarafından kireç fırınlarında bir deneme yakması yapılması planlanmıştır. Proje önerisinde, planlanan bu deneme yakmasının KİMTAŞ A.Ş.’ne ait Bergama’da kurulu olan iki farklı fırında (tek şaftlı dik fırın ve paralel akışlı çift şaftlı fırın), iki farklı atık/yakıt oranı kullanılarak, toplam 4 deneme yakması olarak yapılacağı belirtilmiştir. Ancak daha sonra KİMTAŞ A.Ş.’nin Bergama tesislerinde üretimi durdurması nedeniyle planlanan bu çalışma yapılamamış ve bu duruma ait gelişmeler projenin önceki gelişme raporlarında detaylı olarak açıklanmıştır. Müşteri Kurum olan T.C. Çevre ve Şehircilik Bakanlığı yetkilileri ve proje ekibi ile yapılan toplantılarda alternatif çözüm arayışlarına gidilmiştir. Bu alternatiflerden biri olarak KİMTAŞ A.Ş.’ye ait Muğla’da kurulu olan kireç üretim tesisine arıtma çamurlarının taşınarak deneme yakmasının yapılması gündeme gelmiştir.

Proje kapsamında planlanan bu deneme yakmasının yapılabilmesi için ülkemiz Çevre Mevzuatı gereğince KİMTAŞ tarafından T.C. Çevre ve Şehircilik Bakanlığı’na başvuruda bulunması gerektiğinden, ilk aşamada bu çalışmaya ait planlamalar yapılmıştır. Deneme yakması 6 Ekim 2010 tarihli ve 27721 sayılı Resmi Gazete’de yayımlanarak yürürlüğe giren “Atıkların Yakılmasına İlişkin Yönetmelik”e ait Ek 7 “Beraber Yakma Tesisleri için Deneme Yakması Planı” kapsamında KİMTAŞ tarafından ilgili dosya 18.04.2013 tarihinde hazırlanarak, Bakanlık onayına sunulmuştur. T.C. Çevre ve Şehircilik Bakanlığı’ndan alınan onay dahilinde 25 – 27 Nisan 2013 tarihleri arasında deneme yakması gerçekleştirilmiştir. Deneme yakması aşamasında DEÜ Proje Grubu, KİMTAŞ yetkilileri ve Bakanlık yetkilileri hazır bulunmuştur. Bu deneme yakması KİMTAŞ A.Ş.’ne ait Muğla ’da kurulu olan tek şaftlı dik fırında (Şemsi Ana Fırını) gerçekleştirilmiştir.

İZSU Çiğli Kentsel Atıksu Arıtma Tesisinin çamurlarının bu amaçla kullanılması, tesiste kireç stabilizasyonu uygulanmış çamur kekinin yakmaya hazır ürün haline getirilmesi için KİMTAŞ A.Ş.’nin Bergama tesislerine taşınması ve bu tesiste petrokok ile uygun karışım oranlarında karıştırılarak hazırlanan ürünün Muğla’daki kireç üretim tesisine iletilmesine karar verilmiştir. Bu yönetmelik kapsamında deneme yakması sürecinde oluşan emisyonların ölçümü ve izlenmesi amacıyla bu konuda akreditasyona sahip bir kurum olan TÜBİTAK-MAM yetkilileriyle temasa geçilerek, TÜBİTAK-MAM’ın ölçüm programına alınmıştır. Ayrıca, Çevre ve Şehircilik Bakanlığı tarafından KİMTAŞ A.Ş.’ye B.09.0.ÇYG.0.10.02-145.01-18619 sayılı 04.12.2012

tarihli yazı ile deneme yakmasında kullanılacak olan ham arıtma çamurunun 05.07.2008 tarih ve 26927 sayılı Resmi Gazete’de yayımlanarak yürürlüğe girmiş olan “Atık Yönetimi Genel Esaslarına İlişkin Yönetmelik EK-3B” kapsamında analizlerinin yaptırılması gerektiği bildirilmiştir. Yakıt ürünün hazırlanması amacıyla Bergama Tesisi’ne gönderilecek olan çamur kekinden numune alınarak, ilgili analizler Dokuz Eylül Üniversitesi Çevre Mühendisliği Bölümü laboratuvarlarında gerçekleştirilmiştir. Elde edilen sonuçlar aşağıda Tablo 11.101’de özetlenmiş ve bu analize ilişkin resmi sonuç ve değerlendirmelerin yer aldığı analiz raporu ise EK F-XI’de verilmiştir.

Deneme yakması çalışmalarında izlenen yöntem aşağıda maddeler halinde özetlenmektedir:

- İZSU Çiğli Kentsel Atıksu Tesisi’nden alınan kireçlenmiş yaklaşık 30 ton çamur keki, deneme yakmasına hazırlık amacıyla ön işlem uygulaması için tesisten alınarak KİMTAŞ’ın Bergama’da kurulu olan tesislerine iletilmiştir.
- Bu taşıma işlemi lisanslı taşıma araçları ile gerçekleştirilmiştir.
- Bergama’daki tesiste çamur keki kurutularak uygun karışım oranında (ağırlıkça %10 arıtma çamuru %90 petrokok) hazırlanarak elde edilen ürün Muğla’ya silobaslar ile transfer edilmiştir.
- Deneme yakması DEÜ Proje Grubu, KİMTAŞ yetkilileri ve Bakanlık yetkilileri ile birlikte KİMTAŞ Muğla Kireç Tesisi’nde Şemsi Ana Fırını’nda gerçekleştirilmiştir.
- Deneme yakması sürecinde oluşan emisyonlar, 6 Ekim 2010 tarihli ve 27721 sayılı Resmi Gazete’de yayınlanmış olan “Atıkların Yakılmasına İlişkin Yönetmelik” kapsamında belirtilen esaslar dahilinde, TÜBİTAK Marmara Araştırma Merkezi Endüstriyel Hizmetler Birimi tarafından ölçülmüştür.
- Ürün kalitesine ait etkiler KİMTAŞ A.Ş yetkilileri tarafından analiz edilmiştir.

Tablo 11.101: Deneme Yakmasında Kullanılan Arıtma Çamuru Numunesine ait Kantitatif Kimyasal ve Akut Toksikite Analiz Sonuçları

PARAMETRE	Ölçülen Konsantrasyon	Risk Faktörleri	AYGEİY EK-III B Tehlikeli Atık Eşik Konsantrasyonları	Analiz Yöntemi
Arsenik (As)	% 0,0010	R : 45	≥ % 0,1	EPA 3051 A+ SM 3120 B
Baryum (Ba)	% 0,0095	R:36/37/38	≥ % 20	EPA 3051 A+ SM 3120 B
Berilyum (Be)	% 0,0001	R: 49	≥ % 0,1	EPA 3051 A+ SM 3120 B
Kadmium (Cd)	% 0,0002	R : 26	≥ % 0,01	EPA 3051 A+ SM 3120 B
Kobalt (Co)	% 0,0010	R : 53	≥ % 0,25	EPA 3051 A+ SM 3120 B
Krom (Cr)	% 0,0072	R : 36-37-38	≥ % 20	EPA 3051 A+ SM 3120 B
Bakır (Cu)	% 0,0199	R : 50-53	≥ % 0,25	EPA 3051 A+ SM 3120 B
Civa (Hg)	< % 0,0001	R :26-27-28	≥ % 0,005	EPA 3051 A+ DEU ASL-001
Molibden (Mo)	% 0,0005	R: 11-62	≥ % 5	EPA 3051 A+ SM 3120 B
Nikel (Ni)	% 0,0074	R :40	≥ % 0,1	EPA 3051 A+ SM 3120 B
Kurşun (Pb)	% 0,0036	R : 50-53	≥ % 0,25	EPA 3051 A+ SM 3120 B
Antimon (Sb)	% 0,0001	R : 50-53	≥ % 0,25	EPA 3051 A+ SM 3120 B
Selenyum (Se)	< % 0,0001	R : 53	≥ % 0,25	EPA 3051 A+ SM 3120 B
Kalay (Sn)	% 0,0006	R :26-27-28	≥ % 0,1	EPA 3051 A+ SM 3120 B
Vanadyum (V)	% 0,0053	R : 51/53	≥ % 2,5	EPA 3051 A+ SM 3120 B
Çinko (Zn)	% 0,0661	R : 50-53	≥ % 0,25	EPA 3051 A+ SM 3120 B
Yağ-Gres	% 1,477	R: 45	≥ % 1	Soxhlet Extraction Method
Toplam Hidrokarbon	% 0,187	R: 45	≥ % 0,1	Soxhlet Extraction Method
pH	10,74	R : 51-53	< 2 - > 11,5	TS 8332 ISO 10390
Organik Katı Madde	% 55,38	-	-	TS EN 12879
Mikrotoks bakteri bioluminesans testi ile toksisite tayini	%58,52 inhibisyon	-	-	SM8050 A-B: 2005

Deneme Yakmasında Kullanılan Arıtma Çamuru-Petrokok Karışımını İçeren Yakıtın Hazırlanması

Tek deneme yakması olarak gerçekleştirilen bu çalışmada %10 arıtma çamuru %90 petrokok (ağırlıkça) karışımının yakılmasına karar verilmiştir. Kireç Üretim tesisinin kapasitesi ve kullandığı yakıt ihtiyacı dikkate alınarak yapılan hesaplamalar sonucunda gerekli karışım oranını (ağırlıkça %90 petrokot + %10 çamur) sağlamak üzere yaklaşık %25 KM içeriğine sahip çamur

kekinden 35-40 ton gerekli olduğu belirlenmiştir. Kireç Tesisi normal işletim periyodunda yakıt olarak en az %90 kuruluğa sahip petrokok kullanmaktadır. Fırına beslenecek karışımı içeren yakıt ürünün bu kaliteye getirilebilmesi ve petrokok ile çamur kekinin homojen bir karışım olması için Bergama Tesisi'nde çamur kekine kurutma işlemi uygulanmıştır.

İZSU Çiğli Kentsel Atıksu Arıtma Tesisi'nden alınan çamur kekinin Bergama Tesisi'ne daha kolay yolla taşınması amacıyla Çiğli AAT'de oluşan suyu alınmış, kireç ile stabilize edilmiş yaklaşık %22 KM içeren çamur keki ilk aşamada Çiğli AAT'de belli kalınlıkta araziye serilerek ve zaman zaman karıştırılarak bir miktar daha kurumması ve kolay işlenmesi sağlanmıştır. Bir haftalık bir süreçte gerçekleştirilen bu işlemle çamur kekinin KM içeriği yaklaşık %35 KM mertebesine getirilmiştir. Çiğli AAT'den alınan bu çamur keki atık taşıma lisansına sahip taşıma aracı ile KİMTAŞ Bergama Tesisi'ne gönderilmiştir. Bergama Tesisi'nde çamur keki kurutulup, petrokok ile istenen karışım oranında işlenerek homojen hale getirilmiştir.

Çalışma sırasında tesisten arıtma çamurunun alınmasından yakma işleminin tamamlanmasına kadar tüm işlem adımlarını içeren kütle dengesi hesapları dikkate alınmıştır.

Arıtma çamurunun Çiğli AAT'de serilmesi, tesisten Bergama'ya taşınması, Bergama Tesisi'nde petrokok ile karıştırılarak ürün haline getirilmesi ve silobaslara yüklenmesi aşamalarını içeren görüntüler Şekil 11.95 ve Şekil 11.97 arasında verilmektedir.



Şekil 11.95: İZSU Çiğli Kentsel Atıksu Tesisi'nden Çamur Kekinin Araziye Serilmesi



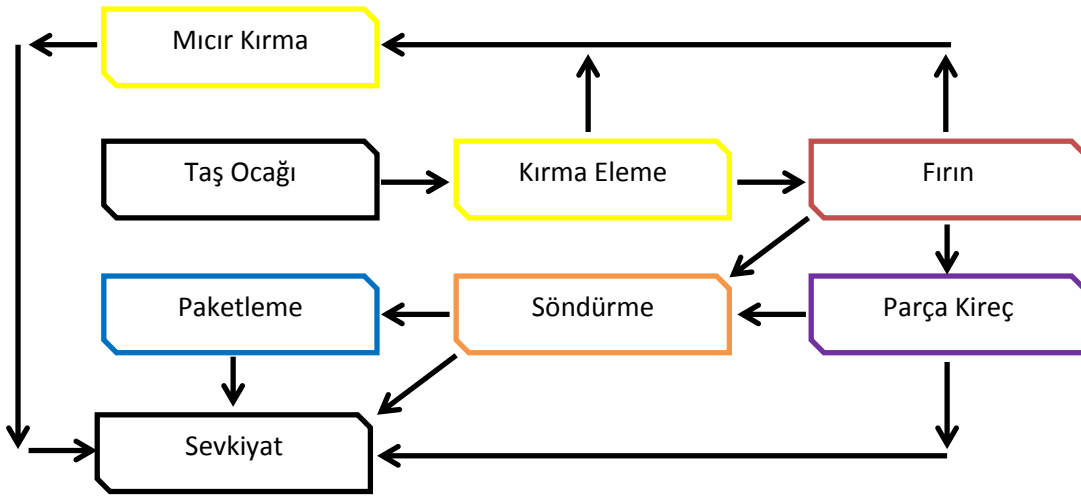
Şekil 11.96: İZSU Çiğli Kentsel Atıksu Tesisi'nden Çamur Kekinın Taşıma Araçlarına Yükleneşesi



Şekil 11.97: Bergama Tesislerinde Elde Edilen Ürün ve Kullanılan Petrokok

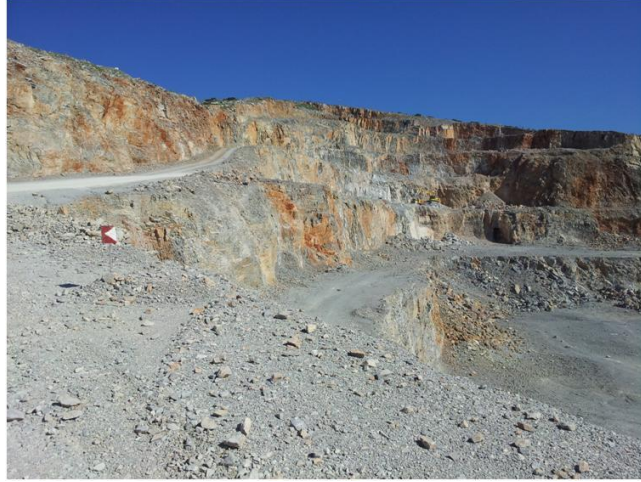
Deneme Yakmasının Gerçekleştirildiği Tesis İle İlgili Bilgiler

Deneme yakması yapılan Muğla Kireç San. A.Ş. adına kayıtlı Kimtaş Kireç Üretim Fabrikası ve Kırma-Eleme Tesisi İşletmesi 32.722,84 m² yüz ölçümlü alan üzerinde, 8.700 m² kapalı alanda yer almaktadır. İşletme, 1971 yılından beri Muğla İli, Merkez İlçesi, Orhaniye Mahallesi, Karabağlar Yolu Mevkiinde faaliyet göstermektedir. Kireç üretim fabrikasında, işletmeye alınan hammadde malzeme (dolomit cevheri); kırma-eleme, kalsinasyon (fırınlama), hidrasyon (kireç söndürme), seperasyon (kireç sınıflandırma) ve paketleme işlemlerinden geçirilerek nihai ürünler olan sönmüş, sönmemiş ve hidrate kireç ile mıcır olarak piyasaya satışa sunulmaktadır. Tesisin akım şemasını da içeren tesis tanıtımına ait bazı bilgiler aşağıda özetlenmektedir (Şekil 11.98).



Şekil 11.98: Muğla Kireç Tesisi Üretim Akım Şeması

Üretim faaliyetleri basit olarak ocaklardan elde edilen malzemenin kırma eleme ünitesinde boyutlandırılarak kireç üretilebilecek taşların fırınlara beslenmesi ile kirecin pişirilmesi aşamalarını içermektedir. Tesis, pişmiş kirecin istenilen kullanım alanlarına göre sönmüş yada sönmemiş şekilde paketleme işlemleri ve pişirme işlemi için gerekli olan yakıt besleme sistemlerini kapsamaktadır. Tesise hammadde sağlayan taş ocakları ve kırma eleme tesisine ait resimler Şekil 11.99 ve Şekil 11.102 arasında verilmektedir. Tesiste kurulu bulunan fırın sistemlerine ait akım şeması Şekil 11.103’de gösterilmiştir.



Şekil 11.99: Fabrikaya Hammadde Sağlayan Taş Ocaklarından Görüntüler



Şekil 11.100: Kırma Eleme Tesisi



Şekil 11.101: Malzeme Ayırma Tesisi



Şekil 11.102: Kireç Üretim Tesisi



Şekil 11.103: Fırınlar Ünitesi Akım Şeması

Fırınlar Ünitesi 290 m² kapalı alanda yer almaktadır. Kireç Fabrikası'nda her biri 10,13 MW olmak üzere (toplam 20,26 MW) 2 adet Nikeks tipi (Pembe Ana ve Şemsi Ana) fırın bulunmaktadır. Kırma eleme tesisinde üretilen +70 mm ile -160 mm arası kalker (fırın taşı), kalsinasyon işlemi için taş besleme ünitesi ile Nikeks tipi fırınlara beslenmektedir. Fırınlarda 1100 - 1200°C civarında kalsinasyon reaksiyonu oluşturarak kireç taşının kirece dönüşümü sağlanmaktadır (Şekil 11.104). Bu kimyasal reaksiyon dışarıdan enerji verilmek suretiyle meydana gelir. Sistemin enerjisi fırın yanma bölgesine pulvarize yakıt enjekte edilerek sağlanmaktadır. Yakıtın püskürtüldüğü bölgede sıcaklık yaklaşık 1100 - 1200°C arasında olup yeterli oksijen ile yakıtın yüksek verimlilikle burada yanması sağlanıp kireç taşının kirece dönüştürülmesi sağlanmaktadır.

Kalsinasyon işlemi için fırınlarda kullanılan yakıtlar; Petrokok, linyit, biyokütle ve atığ yağ olup, atık yağlardan elde edilen ısıl güç her bir fırının ısıl gücünün % 39,9' u kadar olmaktadır. Ancak tesiste deneme yakması aşamasında yakıt olarak sadece petrokok kullanılmıştır.



Şekil 11.104: Kalsinasyon İşlemi

Tesiste, Pembe Ana ve Şemsi Ana fırınlarının kontrolü taş beslemesinden yakıt beslenmesine kadar PLC ile bilgisayar kontrolünde gerçekleşmektedir. Fırınlardaki kalsinasyon işlemi ardından pişen kireç parça kireç ünitesine yada söndürme ünitesine alınmaktadır. Yanma sonucu oluşan baca gazları kalsinasyon bölgesinden filtre akımı ile çekilerek, fırının üst bölgelerine doğru ilerleyen yanma gazları ilerleyen kireç taşı kütlelerine ön ısıtma sağlamaktadır. Yanma gazları ilk olarak filtreleme sistemine uygun sıcaklıklar için eşanjörler ile soğutularak 432 m²'lik 2 adet jet plus torbalı filtrelere alınmaktadır. Torba filtrelerden geçirilen yanma gazları atmosfere, dik çıkışlı yerden 33 m ve çatıdan 6 m yüksekte olan ikiz bacalardan salınmaktadır (Şekil 11.105).



Şekil 11.105: Pembe Ana ve Şemsi Ana Fırın Bacalarına Ait Resim

Deneme Yakması

25-27 Nisan 2013 tarihleri arasında yapılan deneme yakması 6 Ekim 2010 tarihli ve 27721 sayılı Resmi Gazete’de yayımlanarak yürürlüğe giren “Atıkların Yakılmasına İlişkin Yönetmelik”e ait Ek 7 “Beraber Yakma Tesisleri için Deneme Yakması Planı” kapsamında Muğla ’da kurulu olan tek şaftlı dik fırında (Şemsi Ana Fırını) gerçekleştirilmiştir. İZSU Çiğli Evsel Atıksu Arıtma Tesisi’nden alınan kireçle stabilize edilmiş arıtma çamuru keki ve petrokok ile birlikte önceden belirlenen atık menüsüne göre (% 90 Petrokok + %10 Arıtma Çamuru) Bergama’daki tesiste hazırlanan yakıt deneme yakması yapılacak yakıt besleme sisteminin içerisine yüklenmiştir.

Deneme yakması yapılan üniteye ait detay bilgiler aşağıda verilmektedir:

Adı	: Şemsi Ana Fırını
Tipi	: Nikeks tipi Dik Fırın
Kapasitesi (ton farin/saat)	: 160 ton/gün Sönmemiş Kireç (CaO)
Yakıt Besleme Kapasitesi (ton yakıt/saat)	:17.2 ton / gün (Petrokok+Arıtma Çamuru)
Gazın yanma odasında kalış süresi (sn)	: 2.36 sn.

Deneme planı çerçevesinde yapılan hesaplamalara göre saatte 72 kg arıtma çamuru olacak şekilde brülörden besleme yapılmıştır. Yanma bölgesinde yer alan besleme bölgesinin sıcaklığı 1200°C’dir. 25-30 cm kadar fırının içinde kalan brülörden fırına nozul ile püskürtülen yakıt karışımının etrafından da basınçlı hava beslenerek yakma gerçekleştirilmiştir. Saha Çalışmaları- Emisyon ölçümü çalışmalarında T.C. Çevre ve Şehircilik Bakanlığı Yetkilileri, DEÜ Proje Grubu, KİMTAŞ yetkilileri ve emisyon ölçümünü gerçekleştiren TÜBİTAK-MAM ekibi tesiste hazır bulunmuştur. Saha çalışmalarından ve emisyon ölçümü ve örnekleme aşamalarına ilişkin bazı resimler sırasıyla Şekil 11.106 ve Şekil 11.107’de verilmektedir.

Deneme yakması sürecinde tesiste kullanılan yakıt karışımının özelliklerine ilişkin yanma verimini etkileyen bazı parametreler sürekli izlenmiştir. Yapılan bu analizlere ait sonuçlar aşağıda Tablo 11.102’de özetlenmiştir. Ayrıca, yakıt karışımından alınan örnek ve sadece petrokok içeren örnek DEÜ Laboratuvarı’nda da analiz edilmiştir.

Tablo 11.102. Yakıt Karışımına Ait Özellikler

Parametre	Deneme Yakması Sırasında Tesiste Analizlenen Yakıt Karışımı		DEÜ Laboratuvarı'nda Analizlenen Yakıt Karışımı ve Petrokok	
	I.Analiz	II.Analiz	Yakıt Karışımı	Petrokok
Nem, %	3.64	3.66	2.76	0.38
Kül, %	16.10	12.90	16.20	12.75
Sabit Karbon, %	59.76	64.48	62.08	73.74
Uçucu Madde, %	20.50	18.96	18.96	13.13
Isıl Değer, cal/g KM	6717	6448	7171	8420



Şekil 11.106: Saha Çalışmaları- Emisyon ölçümüne yönelik T.C. Çevre ve Şehircilik Bakanlığı Yetkilileri, DEÜ Proje Grubu, KİMTAŞ Yetkilileri ve Emisyon Ölçümünü Gerçekleştiren TÜBİTAK-MAM Ekibi



Şekil 11.107: Emisyon Ölçümü, Örnek Alma ve Örneklerin Saklanması Aşamalarını İçeren Bazı Resimler

Emisyon Ölçümü Sonuçları

6 Ekim 2010 tarihli ve 27721 sayılı Resmi Gazete’de yayımlanarak yürürlüğe giren “Atıkların Yakılmasına İlişkin Yönetmelik”e ait Ek 7 “Beraber Yakma Tesisleri için Deneme Yakması Planı” kapsamında gerçekleştirilmiş deneme yakması çalışmalarında yönetmelikte belirlenen esaslar dahilinde emisyon ölçümleri TÜBİTAK Marmara Araştırma Merkezi Endüstriyel Hizmetler Birimi tarafından yapılmıştır. Ayrıca KİMTAŞ A.Ş. tarafından da ilgili yönetmelik gereğince emisyon ölçümleri PLC kontrollü ölçüm analizörleri ile sürekli izlenmektedir.

Deneme yakması sırasında yönetmelik uyarınca yanma gazları (CO, SO₂, NO_x), toplam hidrokarbon parametreleri, toz, halojenler (HCl, HF), ağır metaller, dioksin/furan ve poliaromatik hidrokarbon parametreleri ölçülmesi planlanmış ve örneklemeler yapılmıştır. Yakmanın yapıldığı Şemsi Ana Fırın Bacası teknik özellikleri ve TÜBİTAK-MAM tarafından ölçülen yanma gazları ölçüm sonuçları; yalnızca Petrokok yakılmakta iken Tablo 11.103’de, Arıtma çamuru+Petrokok yakılmakta iken-başlangıç ölçümü Tablo 11.104’de ve Arıtma çamuru+Petrokok yakılmakta iken-bitiş ölçümü Tablo 11.105’de verilmektedir.

Yanma gazı sonuçları rapor edilirken, “Atıkların Yakılmasına İlişkin Yönetmelik” Ek-2 “Atıkların Beraber Yakılması için Hava Emisyon Limit Değerlerinin Saptanması”nda belirtilen esaslar kapsamında kurulu gücü 50 MWth’ın altındaki tesisler için verilen %6 O₂ düzeltme değeri dikkate alınmıştır. Yönetmelik Ek-2’de 50 MWth’ın altındaki beraber yakma tesisleri için SO₂ ve NO_x için sınır değerler verilmemiştir. Sadece toz için 50 mg/ Nm³ sınır değer olarak verilmiştir (Tablo 11.106).

Yanma gazları ölçüm sonuçları dışında, TÜBİTAK-MAM Laboratuvarları’nda analizlenen diğer parametrelerin ölçüm sonuçlarını içeren rapor EK F-XII’de ve dioksin ve furan analizleri sonuçları EK F-XIII’de verilmiştir. Elde edilen analiz sonuçları “Atıkların Yakılmasına İlişkin Yönetmelik” Ek-2 “Atıkların Beraber Yakılması için Hava Emisyon Limit Değerlerinin Saptanması”nda belirtilen esaslar dahilinde değerlendirildiğinde, 50 MWth’ın altındaki beraber yakma tesisleri için SO₂ ve NO_x için sınır değerler verilmediği; sadece toz için 50 mg/ Nm³ sınır değerinin mevcut olduğu görülmektedir. EK F-XII’de verilen analiz raporu Tablo 11.6’daki toz ölçüm sonuçları 50 mg/ Nm³ sınır değerinin altındadır. Halojen ölçüm sonuçlarının verildiği Tablo 11.7’deki değerlere bakıldığında HCl için 0.25 mg/Nm³ ve HF için 0.03 mg/Nm³ değerinin altında kaldığı belirlenmiştir. TOC ölçüm sonuçları ise 5.3 -7.0 mg/Nm³ aralığında değişmiştir (Tablo 11.8). EK

F-XII’de verilen analiz raporu Tablo 11.9’deki ağır metal analiz sonuçları incelendiğinde tüm parametrelerin ilgili yönetmelik sınır değerlerinin altında olduğu görülmektedir. EK F-XIII’de verilen ek analiz raporu Tablo 11.2’deki dioksin ve furan analiz sonuçlarına bakıldığında, ilgili yönetmeliğin Ek-2 4.1’de verilen sınır değer olan 0.1 Toplam I-TEQ değerinin altında kaldığı belirlenmiştir.

Tablo 11.103: Şemsi Ana Fırın Bacası Teknik Özellikleri ve Yanma Gazları Ölçüm Sonuçları (Yalnızca Petrokok Yakılmakta İken)

Ölçüm Tarihi	27.04.2013	11.3. Baca Adı	Şemsi Ana	
Baca Çapı (m)	0.95 m Ø	Baca Kesit Alanı (m ²)	0.71	
Gaz Hızı (m/s)	10.8	Gaz Debisi (Nm ³ /h)	17158	
Gaz Sıcaklığı (°C)	117	Gaz Basıncı (mbar)	950	
H ₂ O, %	5.5	O ₂ , %	6.2	
Yanma Gazları Analiz Sonuçları				
	1. Ölçüm	2. Ölçüm	3. Ölçüm	Ortalama
CO ₂ , %	24.3	22.4	25.1	23.9
CO, mg/Nm ³	3415	3170	3315	3300
CO, mg/Nm ³ (%6 O ₂ düzeltilmeli)	3461	3213	3359	3344
SO ₂ , mg/Nm ³	82	45	52	60
SO ₂ , mg/Nm ³ (%6 O ₂ düzeltilmeli)	83	46	53	61
NO mg/Nm ³	201	168	205	191
NO, mg/Nm ³ (%6 O ₂ düzeltilmeli)	204	170	208	194
NO _x , mg/Nm ³ NO ₂	309	258	315	294
NO _x , mg/Nm ³ (%6 O ₂ düzeltilmeli)	313	261	319	298

Tablo 11.104: Şemsi Ana Fırın Bacası teknik özellikleri ve yanma gazları ölçüm sonuçları (Aritma çamuru+Petrokok yakılmakta iken-başlangıç ölçümü)

Ölçüm Tarihi	25.04.2013	11.4. Baca Adı	Şemsi Ana	
Baca Çapı (m)	0.95 m Ø	Baca Kesit Alanı (m ²)	0.71	
Gaz Hızı (m/s)	10.8	Gaz Debisi (Nm ³ /h)	17158	
Gaz Sıcaklığı (°C)	117	Gaz Basıncı (mbar)	950	
H ₂ O, %	5.5	O ₂ , %	6.2	
Yanma Gazları Analiz Sonuçları				
	1. Ölçüm	2. Ölçüm	3. Ölçüm	Ortalama
CO ₂ , %	22.7	22.7	21.4	22.3
CO, mg/Nm ³	1536	1511	1571	1539
CO, mg/Nm ³ (%6 O ₂ düzeltilmeli)	1557	1531	1592	1560
SO ₂ , mg/Nm ³	41	41	41	41
SO ₂ , mg/Nm ³ (%6 O ₂ düzeltilmeli)	41	41	41	41
NO mg/Nm ³	262	265	234	254
NO, mg/Nm ³ (%6 O ₂ düzeltilmeli)	266	268	237	257
NO _x , mg/Nm ³ NO ₂	402	406	359	389
NO _x , mg/Nm ³ (%6 O ₂ düzeltilmeli)	408	411	264	394

Tablo 11.105: Şemsi Ana Fırın Bacası teknik özellikleri ve yanma gazları ölçüm sonuçları
(Aritma çamuru+Petrokok yakılmakta iken-bitiş ölçümü)

Ölçüm Tarihi	26.04.2013	11.5. Baca Adı	Şemsi Ana		
Baca Çapı (m)	0.95 m Ø	Baca Kesit Alanı (m ²)	0.71		
Gaz Hızı (m/s)	10.8	Gaz Debisi (Nm ³ /h)	17158		
Gaz Sıcaklığı (°C)	117	Gaz Basıncı (mbar)	950		
H ₂ O, %	5.5	O ₂ , %	6.2		
Yanma Gazları Analiz Sonuçları					
	1. Ölçüm	2. Ölçüm	3. Ölçüm	Ortalama	
CO ₂ , %	24.6	23.9	25.1	24.5	
CO, mg/Nm ³	3003	3785	3777	3772	
CO, mg/Nm ³ (%6 O ₂ düzeltilmeli)	3754	3836	3828	3823	
SO ₂ , mg/Nm ³	79	95	156	110	
SO ₂ , mg/Nm ³ (%6 O ₂ düzeltilmeli)	80	97	158	112	
NO mg/Nm ³	196	172	170	180	
NO, mg/Nm ³ (%6 O ₂ düzeltilmeli)	199	174	172	182	
NO _x , mg/Nm ³ NO ₂	301	264	261	275	
NO _x , mg/Nm ³ (%6 O ₂ düzeltilmeli)	305	267	264	279	

Tablo 11.106: Atıkların Yakılmasına İlişkin Yönetmelik (AYİY) Ek-2’de verilen emisyon sınır değerleri

Kirletici Maddeler mg/Nm ³	< 50 MWth	50 – 100 MWth	100 ila 300 MWth	> 300 MWth
SO ₂	-	200	200	200
NO _x	-	350	300	300
Toz	50	50	30	30

Kütle Dengesi Hesabı ve Ürün Kalitesi

Deneme yakması esnasında kullanılan yakıt karışımının kütle denkleği hesabı ve ürün kalitesine dair değerlendirme aşağıda verilmektedir.

Kütle Dengesi

Petrokok Ortalama Kalorisi : 8250 kcal/kg KM

Petrokok Karışım Oranı : % 90

Aritma Çamuru Ortalama Kalorisi : 2274 kcal

Aritma Çamuru Karışım Oranı : % 10

Yakıt Karışımının Ortalama Kalorisi :

$$(8250 \text{ kcal/kg KM} \times 0,90) + (2274 \text{ kcal/kg KM} \times 0,10) = 7652 \text{ kcal/kg KM}$$

Ürün Kalitesi

Deneme yakması esnasında kullanılan Petrokok + Arıtma Çamuru yakıt karışımının yakılması esnasında, Muğla Kireç Fabrikası'nda ürün kalitesinin belirlenmesine yönelik izleme yapılmıştır. Fabrika yetkilileri tarafından deneme yakması sırasında ürün kalitesine yönelik herhangi bir olumsuz etkinin olmadığı; yapılan kalite değerlendirmesinde her zaman ulaşılan değerlerin sağlandığı beyan edilmiştir.

11.3. ARITMA ÇAMURLARININ YAKILMASI HAKKINDA ELDE EDİLEN BULGULARIN GENEL DEĞERLENDİRMESİ

Bu iş paketi kapsamında ele alınan arıtma çamurlarının yakılması konusu dört grup çalışmadan yola çıkılarak değerlendirilmiştir: karakterizasyon ve laboratuvar ölçekli yakma çalışmaları, çimento fabrikasında yapılan tam ölçekli yakma çalışmaları, kireç tesisinde yapılan tam ölçekli yakma çalışmaları ve mesafe bazlı optimizasyon çalışmaları. Bunlardan laboratuvar ölçekli çalışmalar her ne kadar tam ölçekli sistemleri tam olarak yansıtmasa da, sonuçlar kendi içinde arıtma çamurlarının ana yakıtta ne kadar eklenebileceği konusunda bir fikir verdiği için önemlidir. Bu çalışma ülkemizde farklı bölgelerden ve farklı işletim prensiplerine sahip seçilmiş tesislerden örneklenen arıtma çamurlarının kuru halde ısı değerinin düşük kalorili kömüre eşdeğer seviyelerde yer aldığını göstermiştir. Isıl değer herhangi bir malzemenin yakılabilirliğini belirleyen en önemli özelliktir. Seçilmiş tesislerden örneklenen çamurların ısı değerleri yaklaşık 2200 cal/g ile 4400 cal/g arasında yer almış, bu değerler de çamurların yakıt olarak farklı potansiyeller sergilediğini göstermiştir. Çamurların ısı değerlerini belirleyen önemli unsurlardan birinin çamur stabilizasyon süreci olduğu görülmüş, biyolojik çamur stabilizasyon süreçlerinin organik madde giderimi sebebi ile, kireçle stabilizasyon süreçlerinin ise önemli miktarda inorganik madde eklenmesi sebebi ile ısı değeri düşürdükleri belirlenmiştir. Çamurların farklı element içerikleri de (C, H, N, S ve O) hem yanma potansiyellerini hem de oluşacak muhtemel baca gazı kirleticilerini belirlemesi bakımından önemlidir. Ana yakıtta farklı oranlarda ikame edilerek kullanılan kurutulmuş arıtma çamurlarının belli bir orandan sonra verimsiz yanma göstergesi olan CO emisyonlarını hızlı bir şekilde artırdığı görülmüştür. Bu oran, farklı çamurlar ve farklı yakıtlar için değişim göstermiştir. Örneğin kömür ve petrokoka eklenen İzmir Çiğli ve Ankara ASKİ

çamurlarının miktarının %10'dan %20'ye artması yanmanın veriminde çok keskin bir düşüşe sebep olmuştur. Oysaki İzmit karma çamurlarında bu durum yaşanmamış, yanma verimi gerek kömür, gerekse petrokoka farklı miktarlarda ilave edilen çamurlarla çok daha düşük seviyelerde etkilenmiştir. Laboratuvar çalışmalarında elde edilen sonuçlar çamurun artan uçucu madde miktarının ısı değeri yükselttiğini, ancak reaktördeki yanmayı kontrolsüz hale getirdiğini göstermiştir. Bu çalışmalar çamurun yanma özelliklerinin tesis bazında belirlenmesinin önemini göstermiştir.

Nuh Çimento fabrikasında yapılan tam ölçekli yakma çalışmaları laboratuvar ölçekli deneylerde de kullanılan İzmit karma arıtma çamurunun kömüre enerji bazında %3 ikame edilerek 3 nolu döner fırında yakılmasına katılım şeklinde yapılmıştır. Bu fabrikada halihazırda bu arıtma çamurları kurutularak yakılmaktadır. Çalışmanın bu kısmında proje ekibi 3 nolu fırının bacasında O₂, CO₂, Sıcaklık, CO, NO_x, SO₂ parametrelerinin ölçümlerini gerçekleştirmiştir. Bu ölçümlerin yanı sıra, Nuh Çimento fabrikasının bünyesinde bulunan online ölçüm cihazlarından belirtilen parametreler ile THC, HF, HCl ve toz ölçümü sonuçları alınmıştır. Ayrıca, Nuh Çimento fabrikasının “Atıkların Yakılmasına İlişkin Yönetmelik” kapsamında hizmet alımı ile yaptırmakla yükümlü olduğu periyodik ölçümlerde yukarıda verilen parametrelere ek olarak TOC, PCDD/F ve ağır metaller de ölçülmüştür. Bu üç ölçüm çalışması karşılaştırılmış ve yapılan analizlerin birbiriyle tutarlı olduğu görülmüştür. Ayrıca, yine bu ölçümler Atıkların Yakılmasına İlişkin Yönetmeliğin Ek-2'sinde bulunan sınır değerler ile karşılaştırılmış ve hiçbir parametrenin sınır değerleri aşmadığı görülmüştür.

Yakma denemesi sırasında oluşan baca gazının ölçümü işlemine ek olarak yakma işlemi sırasında açığa çıkan kirleticilerin ne oranda toz filtrelerinde tutulabildiği belirlenmiştir. Bu kapsamda, yakma denemesi sırasında baca tozu filtrelerinden toz örneklemeleri yapılmıştır. Toz örnekleri üzerinde Cr⁺⁶, Ni, Cr, V, Pb, Zn, Cd, Cu, Ca, Mg, As, Co, Tl, Sb, Hg ve PCDD/F parametrelerinin analizi TÜBİTAK-MAM aracılığı ile gerçekleştirilmiştir. Elde edilen sonuçlar baca gazı ölçümü sırasında elde edilen veriler ile karşılaştırılmıştır. Buna göre kirleticilerin büyük bölümünün toz filtrelerinde tutulduğu gözlenmiştir. Dolayısıyla toz filtrelerinin baca gazı emisyonlarının yönetmelik sınır değerleri altında kalmasında etkili olduğu sonucuna varılmıştır.

Nuh Çimento fabrikasında yapılan tam ölçekli yakma denemelerinde ürün üzerinde yapılan analizler sonucunda (klinker kimyasal ve ağır metal analizleri ile klinkerden elde edilen çimento üzerinde yapılan fiziksel testler) ürünün kalitesinin standartların altında olmadığı belirlenmiştir. Ayrıca, elde edilen klinkerin ağır metal içeriği belirlenmiştir. Baca gazında, filtrelerde tutulan tozda ve klinkerde bulunan ağır metallerin konsantrasyonları karşılaştırılmış ve sonuç olarak ağır metallerin büyük çoğunluğunun toz filtrelerinde tutulduğu gözlenmiştir. Son olarak klinker ile %5 alçı taşı ilavesi ile öğütülerek çimento örnekleri hazırlanmıştır. Elde edilen çimentonun kalitesi fiziksel testler yapılarak belirlenmiş, sonuçlar oluşan çimentonun CEM I 42.5 N Portland Çimentosu sınıfına girdiğini göstermiştir. Sonuç olarak arıtma çamurunun çimento üretim prosesinde %3 oranında ek yakıt olarak kullanılmasının, baca gazı emisyonları ile, elde edilen klinkerin ve çimentonun kalitesi bağlamında olumsuz bir etkisinin olmadığı sonucuna varılmıştır.

Yapılan optimizasyon çalışmalarıyla arıtma çamurlarının çimento fabrikaları kullanılarak bertaraf edilip edilemeyeceği teorik olarak incelenmiştir. Bu çalışmalardan önce çimento fabrikalarının klinker üretim kapasiteleri derlenmiş, çimento sektörü ile oldukça geniş katılımlı bir toplantı yapılarak arıtma çamurunun ek yakıt olarak kullanılmasına yönelik sektörün yaklaşımları görüşülmüştür. Hesaplamalarda klinker üretimi için gerekli enerjinin %3'ünün (Nuh Çimento Fabrikası örneğinde olduğu gibi) ya da %10'unun (görüşme yapılan çimento üreticilerinin sorun olmaksızın kullanabileceklerini belirttikleri miktar) çamurdan sağlanması şeklinde iki senaryo incelenmiştir. Klinker üretimi için gerekli enerjinin %3'ünün çamurdan karşılanması durumunda bazı bölgelerdeki çimento fabrikalarının uygulanan kısıtlardan dolayı (örneğin mücadele edilen maksimum taşıma mesafesi) kapasitelerinin yetmeyebileceği belirlenmiştir. Klinker üretimi için gerekli enerjinin %10'unun çamurdan sağlanacağı durumda ise oluşan tüm çamurların kapasite sorunu olmaksızın üretildikleri bölgelerdeki çimento fabrikalarında kullanılabileceği ortaya konmuştur. Bu sonuç, çimento fabrikalarının çamur yakabilmek için gerekli yatırımı yapmaları ve çamurları kabul etmeleri koşulunda, ülkemizde oluşan tüm arıtma çamurlarının bu yöntemle bertaraf edilebileceğini göstermektedir. Yapılan görüşmelerde çimento sektörünün, düzenli bir çamur girdisinin sağlanması durumunda gerekli yatırımları yaparak arıtma çamurunu ek yakıt olarak kullanmaya sıcak baktıkları belirlenmiştir. Bu uygulamadaki en önemli sıkıntılardan biri çamurların kurutulması gerekliliğidir. Bu iş paketinde incelendiği gibi ülkemizin pek çok bölgesinde termal kurutma yapılmaksızın, arıtma çamurları güneş enerjisinden faydalanılarak da kurutulabilmektedir. Çamurların yakılarak bertaraf edilmesinin yaygınlaşmasında özellikle orta ve

yüksek kapasiteli arıtma tesislerinin çamurlarını kurutmalarının ve bu konuda tesislere gerekli destek ve teşviklerin sağlanmasının büyük önem taşıdığı düşünülmektedir.

Ayrıca arıtma çamurlarının kireç tesislerinde ek yakıt olarak kullanılabilirliğinin belirlenmesi amacıyla KİMTAŞ'a ait Muğla'da kurulu olan tesiste "Atıkların Yakılmasına İlişkin Yönetmelik"e ait Ek 7 "Beraber Yakma Tesisleri için Deneme Yakması Planı" kapsamında deneme yakması da yapılmıştır. Deneme yakması sırasında saha çalışmaları ve emisyon ölçümü çalışmalarında T.C. Çevre ve Şehircilik Bakanlığı Yetkilileri, DEÜ Proje Grubu, KİMTAŞ yetkilileri ve TÜBİTAK-MAM ekibi tesiste hazır bulunmuştur. Deneme yakmasında İZSU Çiğli Kentsel Atıksu Arıtma Tesisi'nden alınan kireçle stabilize edilmiş arıtma çamuru keki kurutularak ağırlıkça %10 Arıtma Çamuru +% 90 Petrokok olacak şekilde hazırlanarak, yakıt besleme sistemine verilmiştir.

Deneme yakması sırasında yönetmelik uyarınca yanma gazları (CO, SO₂, NO_x), toplam hidrokarbon parametreleri, toz, halojenler (HCl, HF), ağır metaller, dioksin/furan ve poliaromatik hidrokarbon parametreleri ölçülmüştür. Yanma gazları a)Yalnızca Petrokok yakılmakta iken, b) Arıtma çamuru+Petrokok yakılmakta iken-başlangıç ölçümü ve c) Arıtma çamuru+Petrokok yakılmakta iken-bitiş ölçümü olarak analizlenmiştir. Elde edilen sonuçlar ilgili yönetmelik kapsamında değerlendirildiğinde aşağıdaki bulgular elde edilmiştir:

- Yönetmelikte 50 MWth'ın altındaki beraber yakma tesisleri için SO₂ ve NO_x için sınır değerler verilmediği; sadece toz için 50 mg/Nm³ sınır değerinin mevcut olduğu görülmektedir. Toz ölçüm sonuçları ilgili yönetmelik sınır değeri olan 50 mg/ Nm³ değerinin altındadır.
- Halojen ölçüm sonuçlarına bakıldığında HCl için 0.25 mg/Nm³ ve HF için 0.03 mg/Nm³ değerinin altında kaldığı belirlenmiştir.
- TOC ölçüm sonuçları ise 5.3 -7.0 mg/Nm³ aralığında değişmiştir.
- Ağır metal analiz sonuçları incelendiğinde tüm parametreler ilgili yönetmelik sınır değerlerinin altında kalmıştır.
- Dioksin ve furan analiz sonuçlarına bakıldığında, ilgili yönetmelikte verilen sınır değer olan 0.1 Toplam I-TEQ değerinin altında kaldığı belirlenmiştir.

Fabrika yetkililerinin yaptığı izleme ve kalite değerlendirme çalışmalarında, arıtma çamurunun kireç fabrikasında ek yakıt olarak kullanılmasının üretilen kireç kalitesi üzerinde herhangi bir olumsuz etkisinin olmadığı belirlenmiştir.

Arıtma çamurlarının kireç fabrikalarında ek yakıt olarak değerlendirilmesine yönelik yapılan bu çalışmada, arıtma çamurunun kireç üretim tesislerinde de ek yakıt olarak kullanılabilceği sonucuna ulaşılmıştır. Deneme yakmasının gerçekteştirildiği tesise benzer özelliklerde işletme koşullarına sahip fırınlarda (1000 °C ve üzerindeki yanma sıcaklığı ve yeterli alıkonna süresi) arıtma çamurlarının ek yakıt olarak yararlı kullanımının yaygınlaştırılması çevresel ve ekonomik olarak yarar sağlayacaktır. Bu tür tesislerin olduğu bölgelerde üretilen arıtma çamurlarının nihai olarak bertaraf edilmesinde ve arıtma çamurundan enerji geri kazanımında bu uygulama önemli bir alternatif olarak dikkate alınabilir. Bu amaçla düşünölen tesislerde ilgili mevzuat çerçevesinde deneme yakmaları yapılarak, öлке genelinde bu alternatifin yaygınlaştırılmasına yönelik çalışmalar yapılmalıdır.

