

Günümüz Simyacılarında Nükleer Atık Sorununa Çözüm Nükleer Cansimidi



BİR ZAMANLAR çayırlar yeşil, gökyüzü maviydi. Ortalıkta bomba yapacak kadar zenginleştirilmiş plütonyum stokları yoktu. Nükleer santrallerin gömülecek güvenli bir yer bekleyen radyoaktif atık yığınları da bulunmuyordu... Fizikçilere bakarsanız, bu ılık bahar günleri yakında geri gelebilir. Çünkü bilim adamları, nükleer endüstrinin sırtındaki imaj sorununa en ideal çözümü bulduklarını düşünüyorlar. Hazırladıkları ilaç, plütonyum stoklarını bir çırpıda yok edip nükleer terörizm tehlikesini de en aza indirecek. Mucize ilaç ayrıca tehlikeli nükleer atıkların miktarını azaltmakla kalmayacak; bu stokları yeraltında saklamak artık çocuk oyuncağı haline gelecek. Üstüne üstlük bir zamanlar ne yapacağımızı bilemediğimiz bu atıklar, elektrik enerjisi bile üretebilecek.

Bu mucizevi reçeteye kısaca dönüştürme (transmütasyon) deniyor. En tehlikeli radyoaktif elementlere bir iki nötron eklemekle onları kolaylıkla yok edebiliyorsunuz. Örneğin plütonyum parçalanıyor ve en uzun ömürlü radyoaktif döküntüler bile zararsız hale geliyor.

Dönüştürmenin, radyoaktif atıklar ailesinin en sevimsiz üyelerinden biri

olan tekniyum-99 izotopuna neler yapabileceğine bir göz atalım: Tekniyum-99, uranyumun parçalanmasıyla ortaya çıkan bir yan ürün. Dünya'daki reaktörler her yıl bu maddeden 6 ton kadar üretiyor. Yarı ömrü (taşıdığı ışınımın yarıya inmesi için gerekli süre) tam 200 000 yıl. Üstelik suda kolayca çözülendiğinden, tekniyum-99 kolaylıkla gıda zincirine bulaşabiliyor. Nükleer endüstri yuzünden okyanusların bazı yerlerinde bu maddenin birikim düzeyi 1960'lardan bu yana yüz kat artmış. Ama bu izotopa yalnızca bir nötron ilave edin ve canavarımız bir anda tekniyum-100'e dönüşsün. Bu izotopun yarı ömrüyse yalnızca 15.8 saniye. Siz daha Geiger sayacınızı çıkartıncaya değin bu yeni izotop da bozunarak tümüyle kararlı ve zararsız bir madde olan rutenyum-100 haline geliyor.

İnsanın inanası gelmiyor değil mi? O halde bu parlak düşünceye bir ölçüde kuşkuyla bakılmasını da doğal karşılamak gerek. Öylesine büyük umutlar bağlanan nükleer enerji de, sonunda bazı önemli sıkıntıları da beraberinde getirmede mi? Ama bu kuşuklara rağmen, dönüştürme tekniği üzerinde büyük bir ilgi odaklaşması gözlüyoruz. Prototip bir dönüştürme reaktörü yapımının maliyeti ve neler gerektiği konusunda hazırlanan bir ra-

por, İspanya, Fransa ve İtalya hükümetlerine sunulmak üzere. ABD Enerji Bakanlığı ise, araştırma ve geliştirme harcamaları için 4 milyon dolarlık bir ödeneği onayladı bile. Aslına bakarsanız, ABD'li ve Avrupalı araştırmacılar arasında kıyasıya bir yarış var. Her iki taraf da dönüştürme teknolojisi için zamanın geldiğine inanıyorlar. Bu kavram aslında çok yeni değil; 1990'lı yıllarda özellikle Fransız araştırmacıların düşlerini süslemiş. Ama o zamanlar teknolojik ve ekonomik bakımdan olanaklı görülmemiş. Peki şimdi ne değişti de herkesin ilgisi yeniden arttı? Olan şu: Son birkaç yıldır araştırmacılar, dönüştürme için özel olarak geliştirilmiş reaktörler düşüncesini terkedip çabalarını parçacık hızlandırıcılarla yapılan deneyler üzerinde yoğunlaştırdılar.

Hızlı atom-altı parçacıklar yardımıyla gerçekleştirilen nükleer tepkimeler, kritik düzeyin altında tutulabilir. Başka bir deyişle bu tepkimeler kendi kendilerine devam edemezler; parçacık hızlandırıcısı durdurulunca, tepkimeler de durur. Daha da önemlisi, tepkimeler öylesine ayarlanabilir ki, yarattıklarından daha fazla radyoaktif madde yok edebilirler. Bu alanda ilk ciddi araştırmalar 1980'li yılların sonlarında, ABD'nin New Mexico eyaletin-

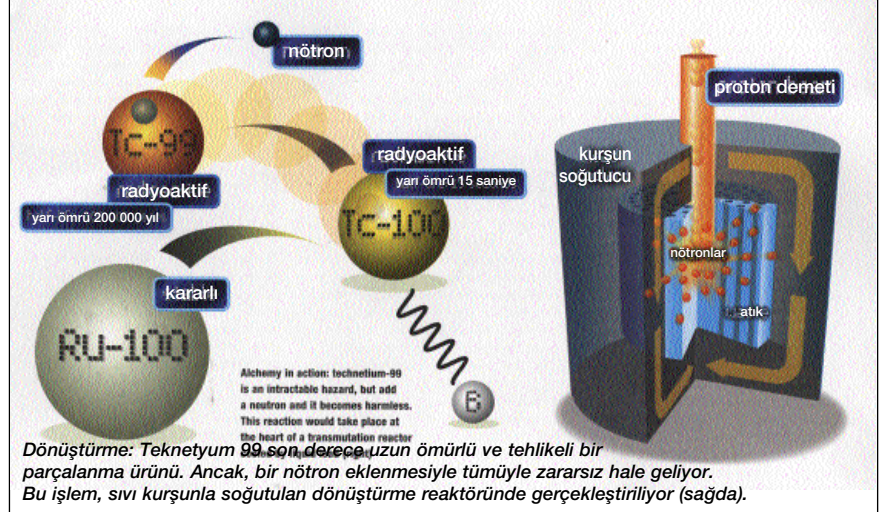
de Los Alamos Ulusal Laboratuvarında başlatıldı. Daha sonra, 1993 yılında Cenevre yakınlarındaki Avrupa Parçacık Fizik Araştırma Merkezi (CERN)'de görevli bilim adamları da benzer bir proje üzerinde çalıştıklarını açıkladılar. Her iki taraf da önemli ilerlemeler kaydettiğini, ve karşı tarafın fikirleri kendisinden çaldığını öne sürüyor. Avrupalılar kendilerine öylesine güveniyorlar ki, Amerikalılarla birlikte çalışmalarını için yapılan bir öneriyi burun kıvrıldılar.

Şimdilik her iki ekibi de zorlayan temel hedef, izotopları, doğalarını değiştirmeleri için "ikna etmek." Bu ise kolay bir iş değil. Örneğin, teknetyum-99 gibi uzun ömürlü bir parçalanma ürününün, bir nötron yakalayıp dönüşüme uğraması rastlantıya bağlı. Ama her izotopun rezonans denilen bir dizi yüksek enerji düzeyi var ve bu düzeylerde şansı daha yüksek. Eğer bu enerji düzeylerindeki bir nötrona rastlarsa, dönüşüm geçirme olasılığı artıyor.

Diğer bir sınıf uzun ömürlü nükleer artıya "trans-uranik elementler" (TRU) adı veriliyor. Plütonyum, uranyum, amerikyum gibi elementler bu grubun örnekleri. Bir nötron yakalayıp dönüşüm geçirmek yerine bu elementler parçalanma yoluyla yok oluyorlar. Nötron enerjilerinin yüksek olması, parçalanma olasılığını da yükseltiyor. CERN ekibinden Jean-Pierre Revol, "yüksek enerjilerde bütün TRUlar parçalanıyor" diyor.

Şimdiye dek fizikçiler, işte bu yüksek enerjili nötronları üretmekte zorlanıyorlardı. Yeni kuşak parçacık hızlandırıcıları bu sorunu çözmüş bulunuyor. Bu hızlandırıcılar eskilerine oranla daha küçük ve daha güvenilir. Eski hızlandırıcılar elektrik şebekesinden sağladıkları gücün ancak %5'ini bir parçacık demeti haline dönüştürebilirken, yeni modeller, bu oranı %50'ye kadar yükseltti.

Gelinen noktanın özeti, radyoaktif atıkların en az bir bölümünü rahatlıkla yok etme olanağına kavuşmuş bulunmamız. Araştırmacılar, yeni teknikler sayesinde atık yoketme kapasitemizin en az yüz kat artacağını hesaplıyorlar. Aslında kuramsal olarak bu oranı daha da yükselmek olanaklı. Ama belirli bir oranı geçince işin maliyeti de yükselmeye başlıyor. Revol,



"temizlik işinde hangi noktaya kadar gideceğiniz, aslında siyasi bir konu" diyor. Atıkların hacmi küçüldükçe, bunların yarattığı tehlikenin boyutu da aynı oranda küçülüyor. Nükleer yeteneğe sahip ülke hükümetlerinin pek çoğu uzun ömürlü atıkları, içinde yüz binlerce yıl kalabilecekleri yalıtılmış yeraltı depolarında saklamayı planlıyorlar. Bu sürenin sonunda, atıklardaki ışınım "tehlikesiz" bir düzeye inmiş olacak. Ama işin can sıkıcı yanı, böylesine uzun sürelerde meydana gelebilecek tersliklerin bilinmemesi. Revol'un CERN'deki çalışma arkadaşlarından Robert Klapisch, "Eğer elinizde yarı ömrü 10 000 yıl olan bir şey varsa, bir kere bunu bir milyon yıl kadar güvenli bir biçimde saklamanın yollarını bulmanız gerekir" diyor ve ekliyor: "Eğer bunların yeniden biyosfere (yaşam küresi) dönmelerini istemiyorsanız, deprem olasılığını da ciddi biçimde hesaplara katmalısınız."

TRU'ların kısa ömürlü radyoaktif ürünlere bölünmeleri, uzun ömürlü izotopların da kararlı elementlere dönüştürülmesi sayesinde bir yeraltı deposunun çok daha kısa süreler dayanması yetiyor. Revol, "1-2 milyon yıl yerine sadece 300 yıldan söz ediyoruz" diyor.

ABD'de dönüştürmenin atık temizleme yeteneği, tekniği çekici kılıyor. Los Alamos'taki araştırmacılar, plütonyumu parçalayıp, ortaya çıkan ürünleri zararsız elementlere dönüştürmeyi planlıyorlar. Dönüştürme programının yöneticisi Francesco Venneri'ye göre "Yüz yıl sonra plütonyum stoku, bugünkü düzeyinin % 10'una inecek." Venneri ayrıca dönüştürme tekniğinin, Enerji Bakanlığı için

bir başağrısı, ülke için de ciddi bir sorun olan depolama sorununu çözeceği düşüncesinde. 1992 yılında Enerji Bakanlığı, depolama tesisinin geçtiğimiz yılın Şubat ayına kadar inşa edileceği sözünü vermişti. Bugün tesisle ilgili olarak varolan tek şey, Arizona'daki Yucca Dağı'nın bir atık depolama merkezi olup olamayacağı konusunda süregelen tartışmalar. Aslında bu tesis yapılsa bile, ABD'deki reaktörlerin atık üretimlerini bugünkü düzeyde sürdürmeleri halinde 50 yıl içinde tümüyle dolmuş olacak. Venneri, nükleer enerji santrallerinin atıklarını da plütonyuma ekleyip "nötron tedavisini" bunlara da uygulamak istiyor. Ve önce santral atıklarını dönüştürmek yoluyla da, Yucca Dağı deposunun dolmasını da yüzlerce yıl geciktirebileceğini düşünüyor.

Bunların hepsi güzel de, bir dönüştürme makinesi nasıl çalışacak? Şöyle: Radyoaktif izotoplar tıka basa uzun borulara doldurulacak ve bunlar da büyük bir kurşun blok içinde hazırlanmış yuvalara indirilecek. Daha sonra bir hızlandırıcıdan gelen proton demeti kurşun blok üzerine nişanlanacak. Çarpışan protonlar, TRU'ları parçalamaya yetecek enerji düzeylerinde bir nötron yağmuruna yol açacak. Nötronlar da kurşun çekirdekleriyle çarpıştıklarında enerjileri giderek azalacak. Enerji düzeyleri, teknetyum-99 gibi izotopların rezonant enerji düzeylerinden geçerken nötronlar büyük olasılıkla dönüşüme yol açacak.

Kurşun, bir yandan sisteme nötron üretirken, bir yandan da soğutucu işlevi görecek. Çekirdek parçalanmalarının yaratacağı ısı, kurşunu ertecek ve reaktör kabı içinde yükselmesini

sağlayacak. Yükselen kurşun daha sonra bir ısı değiştirgecinden geçerek soğuyacak ve tekrar aşağıya çökecek. Atık ısıya elektrik enerjisine dönüştürülecek.

Gerçi kurşun, konveksiyon yoluyla soğutmada etkin bir madde ama, biraz sorunlu. Amerikalı bilim adamları daha önce de kurşunu bir soğutucu olarak kullanmak istemişler; ama sonra vazgeçmişlerdi. Nedeni, kurşunun son derece aşındırıcı bir metal olması. Ama şimdi CERN araştırmacılarının, istemedi de olsa önemli bir fırsat olarak değerlendirdikleri bir şey var: Ruslar!.. Beş yıl önce Rus Deniz Kuvvetleri yetkilileri şaşırtıcı bir açıklama yaptılar. Erimiş kurşun kullanan reaktörlerle çalışan bir denizaltı filoları vardı. Aşındırma sorununa şöyle bir çözüm bulmuşlardı. Kurşuna basınçlı oksijen karıştırıyorlar ve eriyik metale karışan oksijen köpükleri de reaktör duvarlarındaki metal bileşiklerini, koruyucu, üstelik kendi kendini tamir de eden ince bir oksit tabaka oluşturmaya yöneliyordu. Ruslar sonunda bu askeri sırlarını, araştırma harcamalarına destek karşılığında Los Alamos ekibiyle paylaşmayı kabul ettiler.



Eğer kurşun bu şekilde "terbiye" edilirse, makine plütonyum ve santral atıklarından oluşan yükünü üç yıl kadar "pişirecek". Bu işlemde geriye kalanlar, Argonne Ulusal Laboratuvarında (Idaho) geliştirilen ve "pyrochemical separation – sıcak kimyasal ayrıştırma" diye adlandırılan bir teknikle yeniden işlenecekleri yerlere gönderilecekler. Bu ayrıştırma sürecinde atık, erimiş bir elektrolit haline getirilecek ve parçalanmamış TRU zerrecikleri

son derece yüksek sıcaklıktaki bir elektrotta toplanacak. Kapandan kurutulmuş TRU parçaları, eriyikte kalmış olabilecek başka uzun ömürlü izotoplar ve yeni atıklarla birleştirilerek bir kez daha "pişirilmek" üzere dönüştürme makinesine geri gidecek. Amerikalılar, her turda radyoaktif izotopların en az % 20'sinin yok edileceğini hesaplıyorlar. Elde kalan kısa ömürlü radyoaktif maddeler ise yeraltı deposuna gönderilecek.

İşin ABD tarafı böyle. Avrupalılara göreyse tatlının üstüne bir de kaymak gerekli. Plütonyumu yok etmek ve tehlikeli atıkları azaltmaktan başka, bir de normal maliyetlerle elektrik enerjisi elde etmek istiyorlar. Önerdikleri makine, Nobel ödüllü tasarımcısı Carlo Rubbia tarafından "Enerji Yükselticisi" diye adlandırılıyor. CERN araştırmacısı Klapisch'e göre bir enerji yükselticisinin kaç mal olacağı, temel teknik seçeneklerin belirlenmesinden ve bir deney prototipinin yapılmasından sonra anlaşılabilir. "Ama, üretilecek elektriğin maliyeti, bir basınçlı su reaktöründe üretilenden fazla olmasa gerek; çünkü bakım gereksinmesi daha az ve yakıt da daha

Nükleer Atıklardan Kurtulma Yolları

Osman Kadiroğlu

Prof. Dr. H.Ü Nükleer Enerji Mühendisliği Bölümü

Nükleer teknolojiye Aşilin topuğu atıklardır. Çok az miktarda yakıtla çok miktarda temiz ve ucuz enerji üreten nükleer santrallerin ürettikleri atıklar hacim olarak çok azdır. Bu atıkları tehlikeli ve önemli yapan atıkların uzun süre ışınım yapmalarıdır. Kimyasal atıklarla kıyaslandığında, zamanla etkileri yok olduğu için, nükleer atıklar çok daha az tehlikelidirler.

Nükleer atıkların etkilerinin azaltılması, nükleer teknolojinin toplum tarafından daha az korkularak benimsenmesini sağlayacaktır. Nükleer atıkların etkilerinin azaltılması nükleer teknolojinin daha emekleme devirlerinde bilinen ve uygulanan bir yöntemdir.

Nükleer reaktörden çıkartılan yakıtlar 10 – 20 yıl arasında uzun bir süre su havuzlarında bekletilirler. Bu süre içinde kısa yarı ömürlü izotopların büyük bir çoğunluğu yok olur ve kullanılmış yakıtın yaydığı ışınım en az on kat kadar azalır. Daha sonra kimyasal süreçlerle çözünen kullanılmış yakıttan tekrar yakıt olarak kullanılabilir uranyum, plütonyum ayrılır. Arta kalan, yüksek düzeyde atıktır. Bu atıkların miktarı çok azdır. Eğer ABD elektriğinin tümünü nükleer enerjiden sağlasaydı, her yıl, kişi ba-

şına üç adet, çapı 1 cm olan misket büyüklüğünde atık üretilirdi. Uygun yöntemlerle son depolama yerlerine gömülen işte bu atıklardır.

Yüksek düzeyli atıkları nötron ortamında yeterince uzun süre tutup yapınının değiştirilebileceği yıllardır bilinen bir gerçektir. Gerekli nötronların sağlanması, bir nükleer reaktör veya bir parçacık hızlandırıcısıyla gerçekleştirilebilir. Hızlı üreten reaktörlerin zamanımızda

ekonomik olarak elektrik üretememelerine karşın, atık yakmada kullanılması düşünülmektedir. Diğer bir yaklaşım da parçacık hızlandırıcılarıdır.

Yüksek seviyeli atıkların yok edilmesinde kullanılacak yöntemleri mühendislik sistemleri ve ekonomi saptayacaktır. Son zamanlarda parçacık fiziğinde görülen parasal dar boğazları aşmanın bir yolu olarak ortaya atılan parçacık hızlandırıcılarla atık yok etme yöntemleri çok ilginç ve yapılabilir olarak görülebilir. Nükleer teknoloji tarihinde çok sayıda çok iyi ve ilginç sistemler düşünülmüş, tasarlanmış ve hatta yapıp çalıştırılmıştır. Ama zamanımızda ticari olarak kullanılan sistemlerin sayısı bir elin parmaklarından azdır. Parçacık hızlandırıcılarla nükleer atıkları yok edecek sistemler henüz düşünülme ve fikrinsel tasarlanma aşamasındadır. Bu sistemlerin gerçek birer mühendislik sistemi olarak tasarlanması, çalışacaklarının kanıtlanması ve ekonomik olarak rakip sistemlerden daha iyi olduklarının gösterilmesi zaman alacaktır. Bilimsel buluşların kullanılabilir olabilmesi için uzun ve zor bir yolda sabırla yürümek gerekir. Bu uzun yol mühendislik tasarımları ve prototiplerin gerçekleştirilmesidir. İyi mühendislik desteği olmayan bilimsel buluşların yararlı olması düşünülemez.



Bir nükleer reaktörden çıkartılan kullanılmış yakıtlar 10-20 yıl arasında su havuzlarında bekletilerek kısa yarı ömürlü izotopların büyük çoğunluğu yok ediliyor. Geriye çok az miktarda uzun ömürlü atık kalıyor.

ucuz" diyor. Söz ettiği ucuz yakıt, toryum ile TRU oksitlerinin bir bileşimi. Gerçi toryum bir nükleer yakıt olarak kullanılmıyor; ama yan ürün olarak daha az TRU, özellikle de daha az plütonyum ürettiği için günümüz reaktörlerinde kullanılan uranyuma kıyasla daha çekici geliyor uzmanlara.

ABD'deki siyasi ortam elektriğin nükleer santrallerle üretimi için fazla uygun değil. Venneri, "elektrik üretimi elbette olacak ve bu, maliyetin önemli bir bölümünü karşılayacak, ama temel hedef bu değil" diyor. Ona göre verimli bir elektrik üretimi hedeflemek, reaktörün tasarımını gereksiz bir biçimde karmaşıklaştıracak. Kaldı ki, Venneri, Avrupalıların elektrik üretimi konusu üzerine bu kadar düşmelerinin, projeyi hükümetlere "satabilmeye" yönelik bir pazarlama tekniği olduğu görüşünde. "Herkesin projeyi olabildiğince cazip kılmaya çalışması son derece doğal. Ama bana sorsanız ille de en yüksek verim alacağım diye tutturmak doğru değil" diyor.

Klapisch ise verimliliğin karmaşıklık ile eş anlama geldiği düşüncesine katılmıyor. Ona göre verimli bir makinenin daha karmaşık olması için bir neden yok. Ayrıca en verimli makineyi önermekte de bir gariplik olmasa gerek. Kaldı ki, Amerikan planı da daha az siyasi bir yaklaşım sergilemiyor. "Olsa olsa, siyasi öncelikler farklı olabilir" diyor.

Şimdilik araştırmacıların elinde yalnızca simülasyon, ve projenin değişik parçaları ile ilgili bazı deney sonuçları var. CERN araştırmacıları, teknetyum-99'u kalın bir kurşun zarfın içine yerleştirerek dönüştürdüler ve böylelikle ilkenin doğruluğunu kanıtlamış oldular. Amerikalılar ise bir hedef bloğu yapıyorlar ve prototip bir dönüşüm santralını da beş yıl içinde kurmayı planlıyorlar.

Her iki taraf da projeyi gerçekleştirme olanakları konusunda iddialı konuşuyor. Tarafsız gözlemcilerse, daha dikkatli yaklaşım gereğini savunuyorlar. İngiliz AEA Teknoloji şirketi yetkilisi Richard Bush, "bu aslında yabana atılacak bir düşünce değil ama, hayata geçmesi için bugün kullandığımız birçok teknolojiye büyük atılımlar gerekli" diyor. Ona göre taraflar henüz sınınamamış pek çok iddiada bulunuyorlar. Massachusetts Teknoloji Enstitüsü

İngiltere'de atık yakıtların yeniden işlendiği bir nükleer santral: Bu teknik şimdiye değin nükleer enerjinin imaj sorununu çözmeye yetersiz kaldı.



sü nükleer enerji profesörlerinden Lawrence Lidsky de konuya serinkanlılıkla bakılması gerektiğine inananlardan: "Teknik olarak, yapılmak istenen şey olanaklı sayılabilir" diyor. "Ama bunun ekonomik bir yararı olur mu, ona bir şey diyemem."

Lidsky, Los Alamos'ta yapılan çalışmalarını değerlendiren bir panelde de yer aldı. Kullanılan teknolojiye etkilenebilirlikte, panel üyeleri bazı konularda endişelerini dile getirdiler. Örneğin, plütonyum çalınacaksa tasarlanan makineden de rahatlıkla çalınabilir. Üstelik, sıcak kimyasal ayrıştırma işlemi ile TRUlar makinenin atıklarından söküldüğünde plütonyum oranı, kullanılmış santral yakıtında olduğundan daha yüksek çıkıyor. Venneri de bu tür santrallerin daha ileri güvenlik önlemleri gerektiğini kabul ediyor.

Lidsky'yi düşündüren bir başka konu da reaktörün güvenliği. Araştırmacılar, kritik yoğunluğun altında işleyeceği için makinelerinin güvenli olduğunu savunuyorlar. Ama kullanılacak karmaşık teknoloji, Lidsky'nin uykularını kaçırıyor. "Günümüzün enerji santrallerindeki reaktörler bile gerektiğinden çok daha karmaşık. Bunlar ise, daha da karmaşık olacak gibi; bu da ters gidecek daha çok şey olması anlamına geliyor" diyor.

Lidsky'ye göre, dönüştürme konusundaki iyimserlik te fazla uzun sürecek görünmüyor. "Olacağı şu: Bir gün biri çıkıp bütün bu saygın siyasi ve toplumsal amaçların gerçekleşmesinin ne kadar zaman alacağı konusunda daha gerçekçi hesaplar yapacak" diyor. "O zaman gerçek maliyetleri daha iyi

göreceğiz, bütün bu maddelerin nereye gittiğini anlayacağız, plütonyumun dönüşüm santralına nasıl taşınabileceğini göreceğiz. Santralde yapılması gereken işleme miktarını hesaplayacağız, çevresel etki araştırması yapacağız ve bakacağız ki yapacağımız şey artık eskisi kadar ilginç gelmiyor."

CERN ekibine göreyse, dönüştürme programlarına yeşil ışığın yakılması kaçınılmaz. Revol, "EA prototipinin inşa edileceğinden kuşku duymuyorum ve denenir denenmez işletmeye alınacağına inanıyorum" diyor. "İş artık bizden çıktı sayılır" diye ekliyor; "temel araştırma-geliştirme süreci tamamlanmış bulunuyor."

Birçok Avrupa hükümeti de dönüştürme konusuna ilgi duyduğunu açıkladı. Ayrıca Siemens ve İngiliz Nükleer Yakıtlar Kurumu gibi nükleer teknoloji uzmanları, kendi bağımsız araştırmalarını yürütüyorlar. Amerikan Westinghouse şirketiye Los Alamos projesini destekliyor. Çünkü sonuçta bu, nükleer endüstrinin uzun süredir aradığı bir imaj düzeltme fırsatı.

Los Alamos projesi direktörü Venneri, işin siyasi boyutuna gösterdiği özeni bir tarafa bırakarak, enerji üretiminde yepyeni bir çağdan söz ediyor. "Sonunda nükleer enerjinin üretimdeki payını bugünkü % 5 düzeyinden % 25'e yükseltebileceğiz" diyor. Eğer tüm dünyada yaşanan enerji ve çevre sorunlarına çözüm olarak güvülmüştü, patırtısız ve çevreci bir teknoloji çağı düşünüyor idiyeniz, bu kehanet herhalde duymak istediğiniz en son şeydi.

Brooks, M., Nuclear Lifeline, New Scientist, 16 Ocak 1999.
Çeviri: Raşit Gürdilek