استانداری مرکزی

درمان ایرانی‌ها در سایه پیشرفت هسته‌ای

از سال ۲۰۰۷ که کشورهای خارجی همگام با تحریم‌های هسته‌ای، واردات برخی رادیو داروهای حیاتی را ممنوع کردند، تصمیم گرفته شد که از رآکتور تهران برای تولید رادیو ایزوتوپ‌های مورد نیاز کشور در حجم بالا استفاده شود

دیدگاه

مریم حنطه‌زاده
پژوهشگر

داروسازی هسته‌ای (Nuclear Pharmacy/RadioPharmacy) شاخه‌ای تخصصی از علوم داروسازی است که هدف از آن ساخت، توسعه و کاربرد مواد پرتوزا برای تشخیص و درمان بیماری‌ها و تحقیقات علوم پایه داروسازی و پزشکی است.

یکی از مهم‌ترین بخش‌های فعالیت صنعت هسته‌ای ایران، تولید رادیوداروهای تشخیصی و درمانی برای حوزه سلامت و پزشکی کشور است که گرچه بیشترین پیوند را با زندگی و سلامت مردم دارد، اما اغلب در سایه سایر فعالیت‌های هسته‌ای ایران یعنی چرخه تولید سوخت و نیروگاه برق هسته‌ای قرار می‌گیرد. در ایران، سالانه بیش از یک میلیون بیمار از رادیوداروهای تولیدی سازمان انرژی اتمی استفاده می‌کنند. استفاده از فناوری هسته‌ای در تولید دارو، از سال‌ها قبل مورد توجه دانشمندان ایرانی قرار داشته و از اواسط دهه ۶۰ شمسی تولید تحقیقاتی این رادیوداروها آغاز شده است. اما تا سال ۸۷ و قبل از آغاز تحریم‌های شدید هسته‌ای، اکثر این داروها از خارج کشور وارد می‌شدند که علاوه بر قیمت بسیار بالاتر، به‌خاطر هدررفت طول عمر آن در فرایند ارسال و انتقال، حجم مؤثر دارو (که برحسب واحد کوری اندازه‌گیری می‌شود) و اثرگذاری آنها کاهش می‌یافت. اینها غیر از مشکل عدم دسترسی پایدار به این‌گونه داروهای وارداتی بود که موجب می‌شد بسیاری از بیماران سرطانی، امکان استفاده از آنها را نداشته باشند. اما از سال ۸۷، فرایند تولید انبوه این محصولات دارویی در پژوهشگاه علوم و فنون هسته‌ای آغاز شد و سال به سال بر تنوع و روزآمدی عناوین رادیوداروهای تولید داخل افزوده شده است. امروز در ایران و به کمک متخصصان داخلی، بیش از ۵۰ نوع رادیوداروی تشخیصی و درمانی تولید می‌شود.

تشخیص و درمان هسته‌ای

رادیوداروها حاوی ایزوتوپ‌های رادیواکتیوی هستند که انرژی ساطع می‌کنند و در نتیجه می‌توان آنها را آشکارسازی کرد؛ یا به عنوان عاملی برای تهیه تصویر و تشخیص بیماری مورد استفاده قرار داد (رادیوداروهای تشخیصی) و یا به عنوان یک عامل درمانی، آن را مستقیماً به سراغ بافت مورد نظر در بدن بیمار فرستاد (رادیوداروهای درمانی). رادیوداروها به علت تأثیرگذاری بالا و عوارض کم، در تشخیص و درمان سرطان کاربرد زیاد و روبه‌گسترشی دارند. در حوزه رادیوداروهای تشخیصی مهم‌ترین رادیودارو تکنسیم M99 است که بیش از هشتاد درصد تشخیص‌های پزشکی با آن انجام می‌شود و مهم‌ترین رادیوداروی درمانی هم ید ۱۳۱ است که برای درمان سرطان یا پرکاری تیروئید به کار می‌رود.

رادیوداروهای درمانی خصوصیات فروپاشی بالایی دارند که آنها را برای درمان انواع سرطان‌ها قابل استفاده می‌کند. آنها به گونه‌ای طراحی شده‌اند که به طور انتخابی به گیرنده‌های پروتئین بیوشیمیایی خاصی که درون یا روی سلول‌های درگیر بیماری قرار دارند، متصل می‌شوند، سپس با ساطع کردن پرتو در محل تومور سرطانی، با آسیب رساندن به DNA سلول هدف یا از بین بردن گردش خون، از شکل‌گیری متاستاز و یا پراکندگی سلول‌های سرطانی جلوگیری می‌کنند. با این حال در حال حاضر، رادیوداروهای درمانی، بیشتر برای پایین آوردن درد متاستازهای پیشرفته که از آنها به عنوان «سرطان‌های ثانویه» نام برده می‌شود، استفاده می‌شوند.

تکنسیم M99؛ رادیوداروی پرکاربرد

رادیوداروی «تکنسیم M99» مهمترین رادیوداروی تشخیصی است که بیشترین کاربرد را در میان رادیوداروهای پزشکی هسته‌ای دارد. این دارو در ایران هم حدود ۸۰ درصد از رادیوداروهای مورد نیاز را تشکیل می‌دهد و در عکسبرداری‌های متنوع اسکلت استخوانی، ماهیچه قلب، مغز، کبد، طحال، کلیه، مثانه، مغز استخوان، غدد بزاقی و اشکی، پاراتیروئید، سینه، شش‌ها و... مورد استفاده قرار می‌گیرد. اما نیمه عمر کوتاه این رادیودارو مانع از ذخیره‌سازی و استفاده طولانی‌مدت از آن می‌شود و برای استفاده، باید بلافاصله پس از تولید دارو به بدن بیمار تزریق شده و تصویربرداری‌های پزشکی صورت پذیرد. از آنجا که کمبود یا عدم‌دسترسی و یا وقفه در تأمین این دارو، به صورت هفتگی زندگی صدها انسان را با خطر مواجه می‌کند، کشورها سعی می‌کنند تا منابع و تجهیزات لازم در تولید یا فرآوری این دارو را در داخل کشور خود ایجاد کنند اما با وجود آنکه تقاضای سالانه این رادیودارو در جهان رو به افزایش است، تولید منابع اصلی آن به دلیل پیچیدگی‌های خاص، تنها در اختیار چند کشور محدود است.

تکنسیم M99، خود حاصل واپاشی مولیبدن ۹۹ است. مولیبدن ۹۹ به دو روش حاصل از پاره‌های شکافت و پرتودهی مولیبدن طبیعی به دست می‌آید که البته روش اول مرسوم‌تر و به‌صرفه‌تر است و بیش از ۹۰ درصد مولیبدن ۹۹ تولیدی در جهان از طریق شکافت اورانیوم ۲۳۵ حاصل می‌شود. زنجیره تأمین تکنسیم M99 شامل ماده هدف اورانیوم ۲۳۵، رآکتور هسته‌ای، تأسیسات فرآوری مولیبدن ۹۹ و تأسیسات تولید ژنراتور مولیبدن_تکنسیم است.

روند تولید استراتژیک یک داروی حیاتی

در ایران نیز گرچه مطالعات اولیه و امکان ساخت تکنسیم M99 از سال ۱۳۶۸ در داخل سازمان انرژی اتمی فراهم شده بود اما تصور بر این بود که تولید این محصول مقرون به‌صرفه نیست و به همین دلیل تا قبل از تحریم‌های سال ۸۷ که حتی مواد مورد نیاز رادیوداروها را هم شامل می‌شد، به صورت ژنراتور یا مولیبدن تکنسیم از خارج وارد و پس از آماده‌سازی در سازمان انرژی اتمی، به مراکز پزشکی هسته‌ای سراسر کشور ارسال می‌شد. عملیات اجرایی تولید تکنسیم M99 که خوشبختانه پیش از شروع تحریم‌ها آغاز شده بود، در سال ۸۶ در پژوهشگاه علوم و فنون هسته‌ای به سرانجام رسید و در پی نتایج مثبت آزمایش‌های کنترل کیفی و بالینی، پروانه بهره‌برداری از این رادیودارو صادر شد و تولید محدود آن در آزمایشگاه‌های «رادیوایزوتوپ» و «جابربن حیان» (از مهم‌ترین و حیاتی‌ترین بخش‌های تحقیقاتی، علمی، پزشکی و درمانی سازمان انرژی اتمی و کشور) آغاز گردید. این دستاورد موجب شد که نیاز صددرصدی به واردات محصول نهایی آن (که با هزینه چندمیلیون دلاری و از بلژیک انجام می‌شد)، کاهش پیدا کند. از سال ۱۳۹۰ تاکنون، بیش از ۹۰ درصد ژنراتور تکنسیم M99 تولید شده در سازمان انرژی اتمی از طریق رآکتور تحقیقاتی تهران تولید و حدود ده درصد نیز توسط شرکت‌های خصوصی به کشور وارد می‌شود. روند تولید تکنسیم، دو بخش دارد که اولین آن تولید مولیبدن ۹۹ است اما همان‌طور که اشاره شد، مولیبدن ۹۹ نیز یک عنصر طبیعی موجود در طبیعت نیست و برای تولید آن، باید هدفی از اورانیوم غنی‌شده را در یک رآکتور هسته‌ای قرار داد تا طی واکنش‌هایی که صورت می‌گیرد، مولیبدن ۹۹ تولید شود. در حال حاضر پنج رآکتور تحقیقاتی معروف در جهان، عمده تولیدات این عنصر را برعهده دارند و نکته مهم در تمام این پنج رآکتور هسته‌ای آن است که آنها یا از تکنولوژی آب‌سنگین استفاده می‌کنند یا غنای سوخت‌شان بالاست چراکه تولید رادیوداروهای پرتوزا به شارنوترونی بالایی نیاز دارد که در رآکتورهای آب‌سنگین (مانند رآکتور اراک ایران) به راحتی قابل دستیابی است اما در رآکتورهای تحقیقاتی آب‌سبک، تنها با استفاده از سوخت (ماده هدف) با غنای بالا امکان‌پذیر خواهد بود.

متأسفانه در ایران، تولید ماده مادر یعنی مولیبدن۹۹ که قرار بود با تکمیل رآکتور آب‌سنگین اراک برای همیشه در داخل کشور انجام شود، با توقف تکمیل این رآکتور و بعداً به درازا کشیدن بازطراحی آن ذیل برجام، همچنان ممکن نشده است. البته ایران توانسته است در بازه‌های مختلف، مولیبدن مورد نیازش را تأمین کند؛ به‌طور مثال از سال ۸۶ تا ۸۹ با استفاده از رآکتور تهران و از روش طبیعی این کار را انجام داد که گرچه صرفه اقتصادی نداشت اما موجب شد که کشورهای خارجی مجبور شوند صادرات آن را از سر بگیرند. در حال حاضر، ایران به رادیونوکلئید مولیبدن ۹۹ به مقدار ۱۲۰ کوری در هفته نیاز دارد. اکنون بنا به ظرفیت و توان رآکتور تهران یا تأمین مولیبدن اولیه از خارج، از هر دو روش طبیعی و شکافت، برای تضمین تأمین مقدار مولیبدن مورد نیاز کشور استفاده می‌شود. چندی پیش نیز مقدار زیادی از حجم سوخت ۶۰ درصدی تولیدشده در ایران (که تولید آن بعد از خروج امریکا از برجام و عدول سایر طرف‌های آن، دوباره از سر گرفته شده بود) از طریق رآکتور تهران به ماده مولیبدن تبدیل شد تا مورد استفاده داخلی قرار گیرد. البته از سال ۱۳۹۹ نیز طرح کلان ملی فناوری جدید تولید رادیوایزوتوپ مولیبدن۹۹ که تولید صنعتی این ماده استراتژیک را بر پایه روش اقتصادی و با تکنولوژی بالاتر دنبال می‌کند، با محوریت پژوهشگاه علوم و فنون هسته‌ای آغاز شده که البته همچنان به نتیجه نهایی نرسیده است.

بخش دوم فرایند تولید تکنسیم، مربوط به فرآوری مولیبدن است؛ یعنی همان فرایندی که باعث می‌شود مولیبدن به تکنسیم تبدیل شود. این بخش در حال حاضر در رآکتور تحقیقاتی تهران انجام می‌گیرد که متأسفانه به دلیل آنکه رآکتور تهران تنها رآکتور ایرانی قادر به این کار است، اگر مشکلی برای این رآکتور ایجاد شود (که امری طبیعی و اجتناب‌ناپذیر است و در مقاطعی رآکتور تحقیقاتی تهران نیازمند خاموش شدن است)، واردات هفتگی مولیبدن هم دیگر جوابگو نیست چراکه با هیچ دستگاه دیگری امکان فرآوری آن به تکنسیم M99 در داخل کشور وجود نخواهد داشت. ایده‌ای که پیش‌تر وجود داشت، راه‌اندازی چند رآکتور مشابه یا توانمندتر از رآکتور تحقیقاتی تهران بود که می‌توانست درصورت بروز مشکلی برای مجموعه موجود در تهران، نیازمندی کشور را مرتفع سازد و خود نیز در افزایش تولید و در نتیجه صادرات این محصولات نقش‌آفرینی کند. یکی از این مجموعه‌ها رآکتور شیراز بود که البته متأسفانه طرح آن سال‌هاست که متوقف شده و این در حالی است که عمر مؤثر و قابل بهره‌برداری رآکتور تهران نیز با وجود نوسازی و به‌روزرسانی تجهیزات گوناگون آن در این سال‌ها، رو به پایان است و قطعاً ایران نیازمند ساخت رآکتورهای متنوع و جدیدی خواهد بود.

آخرین مرحله برای دستیابی به تکنسیم، ژنراتورهای تکنسیم هستند؛ ژنراتور تکنسیم یک محفظه سربی است که حاوی لوله شیشه‌ای محتوی مولیبدن ۹۹ با نیمه عمر بالاست (۶۷ ساعت) که تدریجاً به تکنسیم ۹۹ واپاشی می‌شود. ساخت این ژنراتور هم در ایران بومی شده است و با توجه به محدودیت‌های وارداتی در بسیاری از قطعات مورد نیاز ساخت این ژنراتور، طراحی تمام قطعات و ساخت آن در داخل صورت گرفته است.

رآکتور تهران؛ قلب تولید داروهای هسته‌ای

همان‌گونه که در معرفی داروی مهم و پرکاربرد تکنسیم اشاره شد، رآکتور تهران، ماشین عمده تولید رادیودارو در کشور است. رآکتور تحقیقاتی تهران در سال ۱۳۴۶ توسط ایالات‌متحده امریکا و در مرکز تحقیقات اتمی واقع در دانشگاه تهران ساخته شد و از آن زمان برای مقاصد تحقیقاتی، آموزش و تولید رادیوایزوتوپ‌ها مورد استفاده قرار گرفته است. هسته مرکزی این رآکتور ۵ مگاواتی در عمق ۸ متری استخری با ظرفیت ۵۰۰ هزار لیتر آب سبک قرار دارد. این رآکتور ابتدا با سوخت‌های صفحه‌ای امریکایی با غنای بالا (بیش از ۹۰ درصد) مورد بهره‌برداری قرار گرفت اما به دلیل نگرانی‌ها در مورد گسترش سلاح‌های هسته‌ای و در راستای برنامه‌های جهانی آژانس بین‌المللی انرژی اتمی برای کاهش غنای سوخت رآکتورهای تحقیقاتی، سوخت رآکتور تهران نیز در سال ۱۳۷۲ به سوخت‌های صفحه‌ای با غنای حدود ۲۰ درصد تبدیل شد که طبق قرارداد، از آرژانتین تأمین شدند. از سال ۲۰۰۷ که کشورهای خارجی همگام با تحریم‌های هسته‌ای، واردات برخی رادیو داروهای حیاتی را ممنوع کردند، تصمیم گرفته شد از رآکتور تهران برای تولید رادیوایزوتوپ‌های مورد نیاز کشور در حجم بالا استفاده شود.

اولین هدف این بهره‌برداری، تولید رادیوایزوتوپ‌های استراتژیک تکنسیم M99 و مولیبدن ۹۹ بود اما در ادامه این روند خودکفایی، رادیوداروهای مهمی همچون فسفر P32، ایریدیم ۱۹۲ و ید ۱۳۱ نیز در رآکتور تحقیقاتی تهران تولید شدند. همین تولید انبوه رادیوداروها موجب شده است رآکتور تحقیقاتی بسیار بیشتر از گذشته مورد استفاده قرار گیرد و با افزایش ساعات کار و بهره‌برداری رآکتور تهران، سرعت مصرف سوخت آن بسیار بیشتر شود. رآکتور تحقیقاتی تهران برای بحرانی شدن (شروع فرایند تولید) به حدود ۳۰ مجتمع سوخت نیاز دارد و اگر بیش از ۴۰ درصد سوخت‌ها سوخته باشند، رآکتور روشن نخواهد شد. در حالی که مجتمع‌های سوخت ایران رو به اتمام بود و به دلیل تحریم‌های هسته‌ای و عدم اجرای تعهد طرف‌های خارجی، امکان تأمین سوخت این رآکتور از خارج وجود نداشت، در سال ۹۰ و پس از آن، از سوخت ۲۰ درصد ساخت داخل برای بهره‌برداری از رآکتور تهران استفاده شده است تا دستاورد ارزشمند دانشمندانی چون شهید شهریاری مانع از توقف درمان بیمارانی شود که با تحریم‌های غیرانسانی روبه‌رو شده بودند.

در ایران علاوه بر رآکتور تحقیقاتی تهران که رآکتور ۵ مگاوات با توان نسبتاً مناسب برای تولید رادیوایزوتوپ، تحقیقات و آزمون مواد است، ۳ رآکتور تحقیقاتی دیگر نیز در اصفهان فعال هستند که شامل رآکتور چشمه نوترون مینیاتوری با توان ۳۰ کیلووات برای تحقیقات، آموزش و فعال‌سازی نوترونی، رآکتور صفر قدرت آب سنگین و رآکتور زیر بحرانی آب سبک برای تحقیقات و آزمایش‌های فیزیک رآکتور می‌شود و هر سه تحت مدیریت پژوهشکده رآکتور و ایمنی هسته‌ای هستند. رآکتور آب سنگین اراک نیز در دست ساخت است که همچنان با جوسازی غربی‌ها پیرامون برنامه هسته‌ای ایران، امکان بهره‌برداری از آن به وجود نیامده است.

مرکز سیکلوترون کرج؛ خط تولید پیشرفته رادیودارو

علاوه بر رآکتور، دومین منبع تولید رادیو داروها در جهان، سیکلوترون‌ها هستند. سیکلوترون نوعی شتاب‌دهنده ذرات کوچک است که قادر است ایزوتوپ‌های رادیواکتیو مورد استفاده در مراحل مختلف رادیولوژی و تصویربرداری پزشکی را تولید کند. وجود ایزوتوپ‌های پایدار و غیررادیواکتیو در سیکلوترون باعث افزایش انرژی ذرات باردار (پروتون‌ها) در یک میدان مغناطیسی می‌شود و هنگامی که ایزوتوپ‌های پایدار به پرتو ذرات واکنش نشان می‌دهند، یک واکنش هسته‌ای بین پروتون‌ها و اتم‌های هدف اتفاق می‌افتد که ایزوتوپ‌های رادیواکتیو مورد نیاز برای کاربرد پزشکی (و برخی اهداف صنعتی و کشاورزی دیگر) را ایجاد می‌کند. بزرگ‌ترین سیکلوترون ایران با توان ۳۰ میلیون الکترون ولت، در مرکز تحقیقات سلامت و کشاورزی البرز قرار دارد و این مرکز، قطب و تنها مرکز تولید انبوه رادیو داروهای سیکلوترونی است و آنها را به تمام مراکز پزشکی هسته‌ای کشور ارسال می‌کند. از جمله این رادیو داروهای سیکلوترونی می‌توان گالیوم ۶۷، تالیوم ۲۰۱، کریپتون m81، مس ۶۱ و ۶۴ و ایندیوم ۱۱۱ را نام برد که تولید سه داروی اول در ایران، سالانه حدود ۲۲۰۰ میلی کوری است. گالیوم ۶۷ برای تومورهای بافت نرم، تالیوم برای بیماری‌های قلبی، ایندیوم برای انواع سرطان‌ها به فرم نشاندار و کریپتون برای اسکن ریه و مس ۶۱ و ۶۴ برای اسکن PET به کار می‌روند.

امروزه از دستگاه‌های جدید تصویربرداری PET، چندین مرکز (حدود هشت) در کشور وجود دارد و رادیو داروی استفاده شده برای این دستگاه که FDG (فلورو دی اکسی گلوکز) نام دارد و برای تشخیص و تعیین برنامه درمانی بیماران مبتلا به انواع سرطان، بیماری‌های قلبی-عروقی، مغز و اعصاب به کار می‌رود، تنها در مرکز سیکلوترون البرز تأمین می‌شود. این دارو نیمه عمر کوتاهی دارد و به خاطر زمان خیلی کوتاهی که از زمان تولید برای مصرف آن فرصت هست، هر زمانی که مورد نیاز بیمارستان‌ها باشد سفارش داده شده و در نهایت سرعت، تولید و ارسال می‌شود. رادیو داروهایی که در مرکز البرز تولید می‌شود دارای استاندارد مهم و جهانی GMP است و از این جهت قابلیت صادراتی خوبی دارد و اگر مشکلات تحریمی نبود، سهم صادراتی آن بیشتر و گسترده‌تر می‌شد.

ژنراتور گالیوم ۶۸ نیز محصول استراتژیک دیگری است که در تصویربرداری PET استفاده می‌شود و دانش تولید آن در کشور ایجاد شده و ایران یکی از پنج کشور تولیدکننده آن است. گالیم ۶۸، پایه رادیو نوکلئیدی رادیو داروهای ضد سرطان و ضد متاستاز دیگری را که در مرکز سیکلوترون کرج تولید می‌شوند، شکل می‌دهد. دستگاه‌های پیشرفته PET Scan که با استفاده از تابش‌های ساطع شده از مواد رادیواکتیو پوزیترون‌دهنده‌ای مانند ۱۸F یا ۶۸Ga، تصاویری از قسمت‌های مختلف بدن تهیه می‌کنند، نیازمند ابزارهای کالیبراسیون متفاوتی هستند که یکی از آنها فانتوم استوانه‌ای ژرمانیوم ۶۸ است که به صورت روزانه دستگاه را مورد آزمون عملکردی قرار می‌دهد و خوشبختانه آن هم توسط سازمان انرژی اتمی ایران در کرج ساخته شده است.

تقریباً نیمی از بیماران سرطانی نیاز دارند با اشعه یا پرتو درمان شوند که همان «پرتودرمانی» است و برای درمان استاندارد این بیماران از سوی سازمان جهانی انرژی اتمی شبکه‌ای از آزمایشگاه‌ها وجود دارد که کالیبراسیون لازم برای دستگاه‌های پرتودهی را انجام می‌دهند زیرا برای درمان لازم است تا مقدار اشعه به طور خیلی دقیق اندازه‌گیری شود. تنها مرکزی که در ایران عضو این شبکه جهانی است، آزمایشگاه‌های دزیمتری استاندارد یا SSDL مرکز البرز است. بنابراین بیش از ۶۰ مرکز رادیوتراپی کشور که برای درمان بیماری سرطان با پرتوها فعال هستند، به طور دوره‌ای به مرکز البرز مراجعه کرده و مقدار پرتو تابیده شده را به طور دقیق اندازه‌گیری می‌کنند.

حدود ۲۰ نوع کیت رادیو دارویی تشخیصی نیز در مرکز سیکلوترون کرج تولید می‌شود. کیت‌ها ترکیباتی هستند که محلول آنها در اتاق تمیز (Clean room) تهیه و بعد از طی مراحلی به پودر تبدیل می‌شود و برای استفاده بیمارستان‌ها در ویال قرار می‌گیرد. پرمصرف‌ترین کیت‌ها در ایران، کیت قلبی، استخوانی، کلیوی و ریوی هستند که هزینه این کیت‌ها در دنیا سه الی چهار برابر آن چیزی است که در ایران تولید می‌شود. گرچه در روند تحقیقات دیده شده که کیت‌های درمانی با دوز کم توانسته‌اند برخی سلول‌های سرطانی کوچک را از بین ببرند، اما فعلاً فقط برای تسکین درد استفاده می‌شوند. در ایران نیز کیت‌های درمانی با استفاده از رادیو داروی ساماریوم ۱۵۳ تولید شده که برای تسکین درد در بیمارانی است که سرطان پیشرفته دارند و مسکن‌های بسیار قوی نیز دیگر پاسخگوی آنها نیست.

ظرفیت‌های آماده منتظر شکافت!

نکته مهمی که پس از مرور نیازها، دستاوردها و موقعیت ایران در تأمین و تولید داخلی رادیو داروها باید به آن توجه داشت این است که برای خودکفایی و موفقیت در پزشکی هسته‌ای (که ظرفیت نیروی انسانی توانمند و بالایی در ایران دارد)، حتماً باید دو پایه اصلی آن یعنی پرتوداروها و تجهیزات مربوط به تولید آنها (یعنی رآکتور، سیکلوترون، سوخت‌های هسته‌ای و تجهیزات نگهداری و ارسال) وجود داشته باشند؛ مسأله‌ای که هم ظرفیت انسانی (نیروی متخصص) و هم دانش کامل چرخه تولید آن در ایران وجود دارد اما در این سال‌ها به دلیل فضاسازی‌های مغرضانه و غیرواقعی غربی‌ها و دشمنان ایران (که اهداف استثماری و وابسته‌سازی دیگر کشورها به تولیدات تکنولوژیکی‌شان را پشت شعارهای صلح‌جویانه پنهان می‌کنند) نتوانسته است به رشدی که شایسته آن است دست پیدا کند و این در حالی است که این امکان نزدیک وجود دارد که بتوان علاوه بر تأمین نیاز داخلی، ایران را به یکی از قطب‌های مهم پزشکی هسته‌ای منطقه تبدیل کرد.

بزرگترین سیکلوترون ایران با توان ۳۰ میلیون الکترون ولت، در مرکز تحقیقات سلامت و کشاورزی البرز قرار دارد و این مرکز، قطب و تنها مرکز تولید انبوه رادیو داروهای سیکلوترونی است و آنها را به تمام مراکز پزشکی هسته‌ای کشور ارسال می‌کند

متأسفانه در ایران، تولید ماده مادر یعنی مولیبدن۹۹ که قرار بود با تکمیل رآکتور آب‌سنگین اراک برای همیشه در داخل کشور انجام شود، با توقف تکمیل این رآکتور و بعداً به درازا کشیدن بازطراحی آن ذیل برجام، همچنان ممکن نشده است