

اثرات آلودگی با میکروپلاستیک ها بر باروری و پیامدهای تولیدمثلی زنان و مردان: مروری بر شواهد نوین

لاله کلانکش^۱

مرکز تحقیقات عوامل اجتماعی موثر بر سلامت دانشگاه علوم پزشکی گناباد، گناباد، ایران

چکیده

مقدمه: آلودگی ناشی از پلاستیک ها در دهه های اخیر به یکی از چالش های مهم زیست محیطی و سلامت عمومی تبدیل شده است. میکروپلاستیک ها (Microplastics; MPs) و نانوپلاستیک ها (Nanoplastics; NPs) ذرات بسیار کوچکی هستند که در اثر تجزیه محصولات پلاستیکی یا به صورت اولیه وارد محیط زیست می شوند. این ذرات از طریق مواد غذایی، آب، هوا و تماس پوستی وارد بدن انسان شده و شواهد جدید نشان می دهد که می توانند در برخی بافت های انسانی، از جمله بافت های مرتبط با تولیدمثل، حضور داشته باشند. هدف این مقاله بررسی شواهد موجود درباره اثر میکروپلاستیک ها بر باروری زنان و مردان، عملکرد گنادها، کیفیت گامت ها، لانه گزینی جنین و پیامدهای بارداری است.

روش بررسی: این مقاله یک مرور روایتی با استفاده از شواهد منتشر شده در پایگاه های PubMed، Scopus و Web of Science است.

مطالعات مروری، سیستماتیک، حیوانی، آزمایشگاهی و مطالعات انسانی مرتبط با میکروپلاستیک ها، نانوپلاستیک ها، باروری، عملکرد تخمدان، کیفیت اسپرم، بارداری و پیامدهای تولیدمثلی مورد بررسی قرار گرفتند.

یافته ها: شواهد موجود نشان می دهد که میکرو و نانوپلاستیک ها می توانند از طریق القای استرس اکسیداتیو، التهاب، اختلال عملکرد میتوکندری، آسیب DNA، آپوپتوز و اختلال در مسیرهای هورمونی بر دستگاه تولیدمثل اثر بگذارند. در مطالعات حیوانی و آزمایشگاهی، مواجهه با این ذرات با کاهش کیفیت اسپرم، اختلال در اسپرماتوژنز، آسیب سلول های سرتولی و لیدیک، اختلال عملکرد تخمدان، کاهش ذخیره و رشد فولیکولی و اختلال در بلوغ اووسیت همراه بوده است. همچنین شواهدی از حضور میکرو و نانوپلاستیک ها در مایع

نویسنده مسئول: ¹

Email: lalehkalankesh@gmail.com

فولیکولی، اسپرم، جفت، مایع آمنیوتیک و مکنونیوم گزارش شده است. یک مرور سیستماتیک و متاآنالیز در سال ۲۰۲۵ نیز ارتباط میان وجود میکروپلاستیک در بافت های مرتبط با بارداری و برخی پیامدهای نامطلوب بارداری، از جمله محدودیت رشد داخل رحمی، را گزارش کرده است. با این حال، بخش قابل توجهی از شواهد مربوط به مطالعات حیوانی و آزمایشگاهی بوده و ارتباط علی قطعی در انسان هنوز اثبات نشده است.

نتیجه گیری: میکروپلاستیک ها به عنوان یک آلاینده نوظهور محیطی ممکن است تهدیدی بالقوه برای سلامت باروری زنان و مردان باشند. با توجه به افزایش شواهد درباره حضور این ذرات در بافت های تولیدمثلی انسان، انجام مطالعات کوهورت آینده نگر، تعیین دوز مواجهه واقعی، استانداردسازی روش های شناسایی و بررسی تأثیر انواع مختلف پلیمرها ضروری است. متخصصان مامایی، زنان، زایمان و ناباروری می توانند با افزایش آگاهی زوجین درباره کاهش مواجهه غیرضروری با پلاستیک ها، در پیشگیری اولیه نقش داشته باشند.

کلیدواژه ها: میکروپلاستیک، نانوپلاستیک، باروری، ناباروری، اسپرم، تخمدان، اووسیت، بارداری، جفت، سلامت باروری.

۱. مقدمه

باروری انسان حاصل تعامل پیچیده ای میان عوامل ژنتیکی، هورمونی، محیطی و سبک زندگی است. در سال های اخیر، علاوه بر عوامل شناخته شده ای مانند سن، چاقی، بیماری های مزمن، اختلالات غدد درون ریز و عوامل ژنتیکی، توجه پژوهشگران به آلاینده های محیطی نوظهور افزایش یافته است. در میان این آلاینده ها، میکروپلاستیک ها و نانوپلاستیک ها به دلیل فراوانی بسیار زیاد در محیط و قابلیت ورود به زنجیره غذایی، اهمیت ویژه ای پیدا کرده اند.

میکروپلاستیک ها معمولاً به ذرات پلاستیکی کوچکتر از ۵ میلی متر اطلاق می شوند، در حالی که نانوپلاستیک ها ابعادی در مقیاس نانومتر دارند. این ذرات ممکن است از تخریب بطری ها، بسته بندی های غذایی، منسوجات مصنوعی، لاستیک خودرو و سایر محصولات پلاستیکی ایجاد شوند [1,3,8].

مواجهه انسان با میکروپلاستیک ها از طریق مصرف آب و غذا، استنشاق ذرات معلق و تماس با محصولات پلاستیکی اتفاق می افتد.

مطالعات جدیدتر حضور این ذرات را در نمونه های انسانی از جمله اسپرم، جفت و مایع فولیکولی گزارش کرده اند؛ موضوعی که اهمیت

بررسی اثرات احتمالی آنها بر باروری را افزایش داده است [1,3,8].

۲. مسیرهای ورود میکروپلاستیک ها به بدن

میکروپلاستیک ها از چند مسیر اصلی وارد بدن انسان می شوند:

- مصرف خوراکی: از طریق آب، غذا، بسته بندی مواد غذایی و ظروف پلاستیکی.
 - استنشاق: ذرات معلق پلاستیکی موجود در هوای محیط و گردوغبار.
 - تماس پوستی: به ویژه در مواجهه شغلی یا تماس طولانی مدت با برخی محصولات پلاستیکی.
- پس از ورود به بدن، بخشی از ذرات می تواند از سدهای بیولوژیک عبور کرده و با ایجاد التهاب موضعی یا سیستمیک و انتقال ترکیبات شیمیایی همراه، آثار زیستی ایجاد کند [3,8,10].

۳. مکانیسم های احتمالی اثر بر باروری

۳-۱. استرس اکسیداتیو

یکی از مهم ترین مکانیسم های مطرح شده، افزایش تولید گونه های فعال اکسیژن (ROS) و ایجاد عدم تعادل میان عوامل اکسیدان و

آنتی اکسیدان است [3,4,6,8].

سلول های تولیدمثلی، به خصوص اسپرم و اووسیت، به دلیل ویژگی های غشایی و متابولیکی خود نسبت به استرس اکسیداتیو حساس

هستند. افزایش ROS می تواند موجب آسیب غشای سلولی، اختلال عملکرد میتوکندری و آسیب DNA شود [3,4,6].

در سیستم تولیدمثل مردان، استرس اکسیداتیو می تواند موجب کاهش تحرک و کیفیت اسپرم و افزایش آسیب DNA اسپرم شود. در

دستگاه تولیدمثل زنان نیز استرس اکسیداتیو با آسیب سلول های گرانولوزا، اختلال رشد فولیکول و کاهش کیفیت اووسیت ارتباط دارد.

[3,4,7]

۳-۲. التهاب و اختلال عملکرد ایمنی

مواجهه با میکروپلاستیک ها می تواند پاسخ های التهابی را تحریک کند. التهاب مزمن یا بیش از حد در محیط تولیدمثلی ممکن است

عملکرد طبیعی تخمدان، بیضه و آندومتر را مختل کند [3,4,6].

این مسئله از نظر بالینی اهمیت دارد، زیرا التهاب محیطی نامناسب می تواند در فرآیندهایی مانند بلوغ گامت، لقاح و لانه گزینی اختلال

ایجاد کند.

۳-۳. اختلال غدد درون ریز

برخی مواد شیمیایی مرتبط با پلاستیک ها، از جمله برخی افزودنی ها و مواد دارای خاصیت مختل کننده سیستم غدد درون ریز، می توانند

در تنظیم هورمونی دخالت کنند [3,6,8].

اختلال محور هیپوتالاموس-هیپوفیز-گناد ممکن است بر تولید هورمون های جنسی، اسپرماتوژنز، رشد فولیکولی و تخمک گذاری اثر

بگذارد. مطالعات مروری، اختلال در استروئیدوژنز و تنظیم هورمونی را از مسیرهای احتمالی سمیت تولیدمثلی میکرو و نانوپلاستیک ها

معرفی کرده اند [3,4,6].

۳-۴. آسیب میتوکندری و DNA

میتوکندری نقش اساسی در تأمین انرژی برای سلول های تولیدمثلی دارد. اختلال عملکرد میتوکندری می تواند موجب کاهش انرژی

سلولی، افزایش ROS و فعال شدن مسیرهای آپوپتوز شود [3,4,6].

از سوی دیگر، آسیب DNA در اسپرم و سلول های تولیدمثلی می تواند کیفیت گامت و احتمال موفقیت لقاح و رشد جنین را تحت تأثیر

قرار دهد.

• اثرات میکروپلاستیک بر باروری مردان

سیستم تولیدمثل مردان یکی از حوزه هایی است که در مطالعات آزمایشگاهی و حیوانی توجه قابل توجهی به آن شده است.

مطالعات نشان داده اند که مواجهه با میکرو و نانوپلاستیک ها می تواند با تغییر ساختار بافت بیضه، آسیب سلول های سرتولی و لیدیگ،

اختلال در سد خونی-بیضه ای و تغییر فرآیند اسپرماتوژنز همراه باشد [3,4,8].

پیامدهای احتمالی شامل موارد زیر است:

- کاهش تعداد اسپرم
- کاهش تحرک اسپرم
- تغییر مورفولوژی اسپرم
- افزایش آسیب DNA اسپرم
- اختلال در تولید تستوسترون
- افزایش استرس اکسیداتیو
- التهاب بافت بیضه

- اختلال عملکرد سلول های سرتولی و لیدینگ

یک مرور نظام مند جدید از شواهد انسانی نیز وجود میکرو و نانوپلاستیک ها در نمونه های مرتبط با دستگاه تولیدمثل مردان را مورد توجه قرار داده و ارتباط احتمالی آنها با کاهش کیفیت اسپرم را گزارش کرده است؛ با این حال، به دلیل محدودیت مطالعات انسانی، هنوز نمی توان رابطه علی قطعی را اثبات کرد [1,7,8].

- اثرات میکروپلاستیک بر باروری زنان

دستگاه تولیدمثل زنان نیز می تواند تحت تأثیر این آلاینده ها قرار گیرد. مطالعات تجربی نشان داده اند که میکروپلاستیک ها می توانند بر تخمدان، فولیکول ها، سلول های گرانولوزا و تعادل هورمونی اثر بگذارند [2,5,6].

یک مرور سیستماتیک منتشر شده در سال ۲۰۲۵ که مطالعات حیوانی و انسانی تجربی را بررسی کرده است، کاهش عملکرد تخمدان، اختلال هورمونی و کاهش باروری را در مطالعات تجربی گزارش کرده است [2].

مکانیسم های احتمالی عبارت اند از:

- افزایش استرس اکسیداتیو
- آپوپتوز سلول های گرانولوزا
- اختلال رشد فولیکول
- اختلال در استروئیدوژنز
- تغییر تعادل هورمونی
- آسیب میتوکندری

- کاهش کیفیت اووسیت

- اختلال در عملکرد آندومتر

همچنین شواهدی از شناسایی میکرو و نانوپلاستیک ها در مایع فولیکولی انسانی گزارش شده است که نگرانی هایی درباره مواجهه مستقیم

اووسیت و محیط اطراف آن ایجاد می کند؛ اگرچه اهمیت بالینی این یافته هنوز به طور کامل مشخص نشده است [1,5,8].

- میکروپلاستیک ها، لقاح و لانه گزینی

موفقیت باروری تنها به کیفیت اسپرم و اووسیت وابسته نیست؛ بلکه سلامت آندومتر، تعامل جنین و آندومتر و ایجاد یک محیط مناسب

برای لانه گزینی نیز اهمیت دارد.

مطالعات آزمایشگاهی و حیوانی نشان داده اند که مواجهه با میکروپلاستیک ها ممکن است موجب التهاب آندومتر و تغییر محیط مناسب

برای لانه گزینی شود. همچنین اختلال در عملکرد تخمدان و کیفیت اووسیت می تواند به صورت غیرمستقیم احتمال لقاح موفق و رشد

مناسب جنین را کاهش دهد [2,3,6,8].

بنابراین، از دیدگاه طب تولیدمثل، اثر احتمالی میکروپلاستیک ها را می توان در چند مرحله متوالی در نظر گرفت:

مواجهه محیطی → تجمع یا عبور ذرات → استرس اکسیداتیو/التهاب → اختلال گامت → کاهش کیفیت لقاح → اختلال

احتمالی لانه گزینی → پیامدهای نامطلوب بارداری

البته این زنجیره در انسان هنوز به مطالعات طولی و بالینی بیشتری نیاز دارد.

- میکروپلاستیک ها و بارداری

یکی از مهم ترین یافته های سال های اخیر، شناسایی میکروپلاستیک ها در نمونه های مرتبط با بارداری است.

مطالعات انسانی حضور این ذرات را در جفت، مکنونیوم جنین و مایع آمنیوتیک گزارش کرده اند. این یافته نشان می دهد که برخی

ذرات می توانند به محیط جنینی دسترسی پیدا کنند [1,5,8,9].

در یک مرور سیستماتیک و متاآنالیز در سال ۲۰۲۵، از میان ۱۳ مطالعه وارد شده، میکروپلاستیک ها در نمونه هایی از جفت، مکنونیوم و

مایع آمنیوتیک گزارش شدند. این مطالعه همچنین ارتباط بین وجود میکروپلاستیک در جفت و برخی پیامدهای بارداری را بررسی کرد و

افزایش خطر محدودیت رشد داخل رحمی را گزارش نمود؛ با این حال، نویسندگان بر ضرورت مطالعات بزرگ تر برای تأیید این یافته ها

تأکید کرده اند [5].

این موضوع از دیدگاه مامایی اهمیت ویژه ای دارد، زیرا دوره جنینی یکی از حساس ترین دوره های زندگی نسبت به عوامل محیطی است.

• ارتباط احتمالی با ناباروری و درمان های کمک باروری

با افزایش استفاده از روش های کمک باروری مانند IVF و ICSI، شناخت عوامل محیطی مؤثر بر کیفیت گامت و جنین اهمیت بیشتری

یافته است.

در حال حاضر نمی توان بر اساس شواهد موجود گفت که میکروپلاستیک ها به طور مستقیم علت ناباروری هستند. با این حال، اثر احتمالی

آنها بر کیفیت اسپرم، عملکرد تخمدان، بلوغ اووسیت، استروئیدوزن و محیط آندومتر، این فرضیه را مطرح می کند که مواجهه طولانی مدت

ممکن است یکی از عوامل محیطی مؤثر بر کاهش باروری باشد [1,7,8,9].

مرورهای جدید نیز بر همین نکته تأکید دارند: شواهد زیستی و آزمایشگاهی قابل توجه است، اما برای تبدیل این یافته ها به یک رابطه

بالینی قطعی در انسان، مطالعات با طراحی دقیق تر ضروری است [1,2,5,8,9].

• اهمیت موضوع برای متخصصان زنان، مامایی و ناباروری

با توجه به افزایش شواهد درباره مواجهه انسان با میکروپلاستیک‌ها، این موضوع می‌تواند در مراقبت‌های پیش از بارداری و مشاوره ناباروری مورد توجه قرار گیرد.

در حال حاضر، ارائه توصیه‌های بسیار محدودکننده یا مبتنی بر ادعای قطعی درباره میکروپلاستیک‌ها از نظر علمی موجه نیست. با این حال، اقدامات کم‌خطر برای کاهش مواجهه غیرضروری می‌تواند بخشی از توصیه‌های عمومی سلامت محیطی باشد.

از جمله:

- کاهش مصرف غذاها و نوشیدنی‌های داغ در ظروف پلاستیکی نامناسب
 - کاهش استفاده غیرضروری از ظروف یک‌بارمصرف پلاستیکی
 - عدم گرم کردن غذا در ظروف پلاستیکی مگر اینکه ظرف برای این کار تأیید شده باشد
 - استفاده از ظروف شیشه‌ای یا فلزی مناسب برای نگهداری و گرم کردن غذا
 - کاهش مصرف آب و نوشیدنی‌های بسته‌بندی شده پلاستیکی در صورت امکان
 - توجه به تهویه مناسب محیط‌های دارای گردوغبار یا ذرات پلاستیکی
 - رعایت اصول بهداشت محیطی و شغلی در افراد دارای مواجهه حرفه‌ای با پلاستیک
- این توصیه‌ها باید به‌عنوان اقدامات احتیاطی و کاهش مواجهه در نظر گرفته شوند، نه درمان قطعی ناباروری.

• محدودیت‌های شواهد موجود

با وجود افزایش سریع مطالعات، چند محدودیت مهم وجود دارد [1,8,9,10].

نخست اینکه بخش قابل توجهی از شواهد مربوط به مدل های حیوانی یا مطالعات سلولی است و انتقال مستقیم نتایج آنها به انسان

نیازمند احتیاط است [1,2,3,6,8].

دوم اینکه نوع پلیمر، اندازه، شکل، بار سطحی و مواد شیمیایی همراه ذره می تواند سمیت آن را تغییر دهد.

سوم اینکه بسیاری از مطالعات آزمایشگاهی از غلظت هایی استفاده کرده اند که ممکن است با میزان مواجهه واقعی انسان متفاوت باشند.

یک مرور جدید نیز بر همین محدودیت تأکید کرده و هشدار داده است که برخی مطالعات از دوزهای بالای ذرات پلاستیکی خالص

استفاده کرده اند که ممکن است قابلیت تعمیم نتایج به مواجهه واقعی را محدود کند [8,9,10].

همچنین روش های شناسایی میکروپلاستیک ها در نمونه های انسانی هنوز کاملاً استاندارد نشده اند. تکنیک هایی مانند طیف سنجی رامان و

روش های مبتنی بر مادون قرمز و پیرولیز-کروماتوگرافی گازی/طیف سنجی جرمی هر یک مزایا و محدودیت های خاص خود را دارند.

[1,8,9]

۱۱. پیشنهادهایی برای تحقیقات آینده

برای تعیین نقش واقعی میکروپلاستیک ها در ناباروری انسان، تحقیقات آینده باید بر محورهای زیر متمرکز شوند:

۱. انجام مطالعات کوهورت بزرگ و آینده نگر در زوج های در سن باروری.

۲. اندازه گیری میزان واقعی مواجهه افراد با میکرو و نانوپلاستیک ها.

۳. بررسی همزمان کیفیت اسپرم، آسیب DNA اسپرم، ذخیره تخمدان، کیفیت اووسیت و نتایج IVF.

۴. بررسی میکروپلاستیک ها در مایع فولیکولی و ارتباط آن با کیفیت اووسیت و جنین.

۵. مطالعه ارتباط بین بار میکروپلاستیک جفت و پیامدهای بارداری.

۶. استانداردسازی روش های نمونه برداری و شناسایی ذرات.

۷. بررسی اثر اندازه و نوع پلیمرهای مختلف.

۸. مطالعه اثر مواجهه همزمان با میکروپلاستیک ها و سایر آلاینده های مختل کننده غدد درون ریز.

۹. بررسی اثرات احتمالی بین نسلی بر سلامت تولیدمثل نسل بعد.

۱۰. ایجاد دستورالعمل های مبتنی بر شواهد برای کاهش مواجهه در دوران پیش از بارداری و بارداری.

۱۲. نتیجه گیری

میکروپلاستیک ها به عنوان آلاینده های نوظهور محیطی، در سال های اخیر به یکی از موضوعات مهم در پژوهش های سلامت باروری تبدیل شده اند. شواهد موجود نشان می دهد که این ذرات قادرند از مسیرهای مختلف وارد بدن شوند و در برخی بافت های مرتبط با تولیدمثل انسان یافت شوند [1,8,9,10].

از نظر زیستی، استرس اکسیداتیو، التهاب، اختلال عملکرد میتوکندری، آسیب DNA و اختلالات هورمونی از مهم ترین مکانیسم های احتمالی سمیت تولیدمثلی محسوب می شوند. در مردان، این مکانیسم ها ممکن است به کاهش کیفیت اسپرم و اختلال اسپرماتوژنز منجر شوند و در زنان می توانند عملکرد تخمدان، رشد فولیکولی، کیفیت اووسیت و محیط آندومتر را تحت تأثیر قرار دهند [3,4,6,8].

وجود میکروپلاستیک ها در جفت، مایع آمنیوتیک، مکنونیم، اسپرم و مایع فولیکولی اهمیت این موضوع را برای متخصصان زنان، مامایی و پزشکی تولیدمثل دوچندان کرده است. با این حال، باید تأکید کرد که شواهد فعلی برای اثبات اینکه میکروپلاستیک ها به طور مستقیم باعث ناباروری انسان می شوند کافی نیست و بخش مهمی از شواهد همچنان از مطالعات حیوانی و آزمایشگاهی حاصل شده است [1,5,8,9].

بنابراین، میکروپلاستیکها را باید یک عامل خطر محیطی بالقوه و قابل بررسی در سلامت باروری دانست، نه یک علت قطعی ناباروری.

انجام پژوهشهای انسانی استاندارد، آینده نگر و چندمرکزی می تواند در سالهای آینده نقش واقعی این آلایندهها را در ناباروری، موفقیت

درمانهای کمک باروری و پیامدهای بارداری روشن تر کند [1,5,9,10].

منابع

1. Hunt K, Davies A, Fraser A, Burden C, Howell A, Buckley K, et al. Exposure to microplastics and human reproductive outcomes: a systematic review. *BJOG*. 2024;131(5):675-683. doi:10.1111/1471-0528.17756.
2. Inam Ö. Impact of microplastics on female reproductive health: insights from animal and human experimental studies: a systematic review. *Arch Gynecol Obstet*. 2025;312(1):77-92. doi:10.1007/s00404-024-07929-w.
3. Ali W, et al. A critical review on male-female reproductive and developmental toxicity induced by micro-plastics and nano-plastics through different signaling pathways. *Chem Biol Interact*. 2024;394:110976. doi:10.1016/j.cbi.2024.110976.
4. Kumar N, Mangla M. Microplastics and impaired male reproductive health—exploring biological pathways of harm: a narrative review. *Biol Reprod*. 2025;112(6):1028-1038. doi:10.1093/biolre/joaf054.
5. Ali-Hassanzadeh M, Arefinia N, Ghoreschi ZAS, Askarpour H, Mashayekhi-Sardoo H. The effects of exposure to microplastics on female reproductive health and pregnancy outcomes: a systematic review and meta-analysis. *Reprod Toxicol*. 2025;135:108932. doi:10.1016/j.reprotox.2025.108932.
6. Balali H, Morabbi A, Karimian M. Concerning influences of micro/nano plastics on female reproductive health: focusing on cellular and molecular pathways from animal models to human studies. *Reprod Biol Endocrinol*. 2024;22(1):141. doi:10.1186/s12958-024-01314-7.
7. Liu W, Qu Z, Wang X, Feng H, Ma S, Zheng Y, et al. Microplastic exposure is associated with male reproductive health. *Microplastics*. 2024;4(6):549-552. doi:10.1515/mr-2024-0069.
8. Zhang Z, Meng J, Tian J, Li N, Chen Z, Yun X, et al. Reproductive and developmental implications of micro- and nanoplastic internalization: recent advances and perspectives. *Ecotoxicol Environ Saf*. 2024;286:117245. doi:10.1016/j.ecoenv.2024.117245.
9. Broggiato M, Pezzana S, Scaccabarozzi C, Parisi F, Vanetti C, Guinea Montalvo CK, et al. Plastic pollution in human reproduction: should we worry? *Reprod Biomed Online*. 2026;52(3):105343. doi:10.1016/j.rbmo.2025.105343. Epub 2025 Oct 13.
10. Tran HAA, Ng JJ, Tang DH, Yong CT, Ho AFW. Health impacts of micro- and nanoplastics in humans: systematic review of in vivo evidence. *Environ Health*. 2026;25(1):26. doi:10.1186/s12940-026-01282-y.